

**République Algérienne Démocratiques et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen**  
**Faculté des Science de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers**



## **Mémoire**

Présenté par

**Bendellaa Rania et Merabet Safaa**

En vue de l'obtention du

**Diplôme de Master**

En Biologie

**Option : Microbiologie fondamentale**

---

## **Contribution à l'étude de l'effet antimicrobien de l'argile de trois régions de la wilaya de Tlemcen**

---

Soutenue le 06/ 2025 à Tlemcen devant le jury composé de :

|                      |                         |                       |              |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------|
| Mme. TRIQUI Chahinez | Maitre de Conférences B | Université de Tlemcen | Présidente   |
| Mme. DIDOUH Nassima  | Maitre de Conférences A | Université de Tlemcen | Examinatrice |
| Mme. LEMRINI Wafaa   | Maitre de Conférences A | Université de Tlemcen | Encadrante   |

Année Universitaire **2024-2025**

## ***Remerciements***

Avant toute chose, nous rendons grâce à Dieu, Le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, la patience, la force et la volonté nécessaires à l'accomplissement de ce travail. Sans sa bienveillance, rien n'aurait été possible.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Mme. Triqui Chahinez Maître de Conférences B à l'université de Tlemcen pour avoir accepté, avec bienveillance, de présider le jury de ce mémoire. Son expertise et ses précieux conseils contribueront sans aucun doute à rehausser la valeur de notre travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à Mme. Didouh Nassima, Maître de Conférences A à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de faire partie du jury d'évaluation de ce mémoire. Sa disponibilité, ainsi que l'attention portée à notre travail, témoignent de son engagement envers la formation des étudiants.

Un remerciement tout particulier et empreint de profonde reconnaissance à M. Belyagoubi Larbi, Professeur à l'université de Tlemcen, dont l'engagement exceptionnel a été un véritable pilier dans la réalisation de ce travail. Par sa disponibilité sans faille, sa générosité constante et son soutien indéfectible, il nous a offert bien plus que de simples moyens et matériels, il nous a offert sa confiance, son temps et son énergie, toujours avec bienveillance et dans un esprit de service admirable. Sa présence à nos côtés a non seulement facilité la continuité de ce projet, mais elle a aussi renforcé en nous la motivation et la rigueur nécessaires pour mener à bien cette étude.

Nous tenons à adresser nos plus sincères remerciements à notre encadrante, M. Lemerini Wafaa, Maître de Conférences A à l'université de Tlemcen, pour son accompagnement tout au long de ce mémoire. Grâce à sa disponibilité, ses conseils avisés et sa rigueur scientifique. Nous avons pu mener à bien ce travail dans les meilleures conditions. Son encadrement a été pour nous une véritable source de motivation et d'enrichissement. Nous lui sommes profondément reconnaissantes pour sa confiance, son exigence constructive et son soutien constant. Nous lui exprimons toute notre reconnaissance et notre profonde gratitude pour la confiance qu'elle nous a accordée, pour son engagement, ainsi que pour la richesse de ses remarques et orientations qui ont grandement contribué à la qualité de ce mémoire.

Nous adressons également nos sincères remerciements à M. Zatla Ilyes, doctorant à l'université de Tlemcen, pour le temps qu'il nous a consacré, ainsi que pour son aide précieuse dans la réalisation de ce travail. Ses encouragements, sa disponibilité et, surtout, la pertinence de ses conseils de rédaction ont grandement enrichi la qualité de ce mémoire.

## ***Dédicace***

### ***Nous dédions ce modeste travail***

*À nos très chers parents, qui nous ont toujours encouragés et motivés à poursuivre nos études. Nous vous remercions pour tout le soutien et l'amour que vous nous portez depuis notre enfance.*

*À nos chers frères et sœurs,*

*À tous ceux qui nous sont chers...*

- I. Table des matières**
- II. Liste des abréviations**
- III. Liste des figures**
- IV. Liste des tableaux**

## **Table des matières**

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Introduction .....</i>                                                                           | <b>1</b>  |
| <i>Partie bibliographique .....</i>                                                                 | <b>3</b>  |
| 1. Historique.....                                                                                  | 3         |
| 2. Définition d'argile .....                                                                        | 4         |
| 3. L'origine de l'argile .....                                                                      | 5         |
| 4. La structure de l'argile .....                                                                   | 7         |
| 5. La classification des minéraux argileux.....                                                     | 7         |
| 5.1. Classification selon la structure chimique.....                                                | 8         |
| 5.1.1. Groupe des phyllosilicates à feuillets .....                                                 | 8         |
| 5.2. La classification selon la couleur .....                                                       | 10        |
| 6. Les propriétés des minéraux argileux.....                                                        | 11        |
| 6.1. La surface spécifique .....                                                                    | 11        |
| 6.2. La capacité d'échange cationique.....                                                          | 11        |
| 6.3. La capacité de gonflement.....                                                                 | 11        |
| 6.4. Absorbance et adsorbance .....                                                                 | 12        |
| 7. Les domaines d'applications des argiles .....                                                    | 13        |
| 7.1. Application environnementale (traitement des eaux usées) .....                                 | 13        |
| 7.2. Application dans la construction.....                                                          | 14        |
| 7.3. Application dans le domaine cosmétique.....                                                    | 14        |
| 7.4. Application dans le domaine médicale.....                                                      | 14        |
| 7.4.1. Les adhésifs dentaires .....                                                                 | 15        |
| 7.4.2. L'activité antimicrobienne .....                                                             | 15        |
| 7.4.3. Interaction d'argile avec les antibiotiques .....                                            | 16        |
| 7.4.4. L'effet protecteur de l'argile et de la nano-argile contre la toxicité de l'aflatoxine ..... | 17        |
| 7.5. Autres applications .....                                                                      | 17        |
| <i>La partie expérimentale .....</i>                                                                | <b>18</b> |

|            |                                                                            |           |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.         | Objectif du travail .....                                                  | 18        |
| 2.         | Matériels et méthodes .....                                                | 18        |
| 2.1.       | Matériel naturel.....                                                      | 18        |
| 2.1.1.     | Echantillons .....                                                         | 18        |
| 2.2.       | Appareillages et produits .....                                            | 19        |
| 2.3.       | Méthodes .....                                                             | 19        |
| 2.3.1.     | Préparation des échantillons d'argile .....                                | 19        |
| 2.3.2.     | Extraction du contenu actif.....                                           | 20        |
| 2.3.3.     | Filtration et stockage des solutions d'argile .....                        | 20        |
| 2.3.4.     | L'étude microbiologique .....                                              | 21        |
| 2.3.4.1.   | L'étude biochimique .....                                                  | 21        |
| 2.3.4.1.1. | Teste de catalase .....                                                    | 21        |
| 2.3.5.     | L'étude biologique.....                                                    | 21        |
| 2.3.5.1.   | Examens microscopiques.....                                                | 21        |
| 2.3.5.1.1. | Coloration de gram .....                                                   | 21        |
| 2.4.       | L'étude de l'activité antimicrobienne .....                                | 22        |
| 2.4.1.     | Milieux de culture .....                                                   | 22        |
| 2.4.2.     | Préparation de l'inoculum .....                                            | 23        |
| 2.5.       | Détermination de la sensibilité des souches aux extraits des argiles ..... | 24        |
| 2.5.1.     | Méthode de diffusion sur gélose .....                                      | 24        |
| 2.5.2.     | Détermination des concentration inhibitrice CMI et CMB .....               | 24        |
| 2.5.3.     | Repiquage des Cultures .....                                               | 25        |
|            | <b>Résultats et discussion .....</b>                                       | <b>26</b> |
| 1.         | Etude biochimique .....                                                    | 26        |
| 1.1.       | Test de catalase.....                                                      | 26        |
| 2.         | Coloration de gram .....                                                   | 27        |
| 3.         | Activité antimicrobienne .....                                             | 27        |
| 3.1.       | Méthode de diffusion sur gélose .....                                      | 27        |
| 3.2.       | Détermination des concentrations minimale inhibitrice CMI et CMB .....     | 28        |
|            | <b>Conclusion générale.....</b>                                            | <b>32</b> |
|            | <b>Références bibliographiques .....</b>                                   | <b>33</b> |

## Liste des abréviations

ACM : minéral argileux smectite

AFB1 : L'aflatoxine B1

AIPEA : l'association internationale pour l'étude des argiles

ALT : alanine aminotransférase

AST : aspartate aminotransférase

AST : les tests de sensibilité aux antimicrobiens

ATCC : American Type Culture Collection.

Av. J.-C : avant Jésus Christ

BD : type d'argile la beidellite

BMH : Bouillon Mueller Hinton

BS : Bouillon Sabouraud

CASAD : une argile naturelle de type montmorillonite calcique (aluminosilicate de calcium)

CAT : catalase

CEC : capacité d'échange cationique

CMT : cancer médullaire de la thyroïde

CPL : la clinoptilolite

ERO : des espèces réactives de l'oxygène

GGT : gamma-glutamyl transférase

GPX : Glutathionne peroxydase

MC : Monte Carlo

MD : dynamique moléculaire

MEB : la microscopie électronique à balayage.

MHA : La gélose Mueller-Hinton

NHT : nanotubes d'halloysite

O :la couche octaédrique

PLS : Polymères-argiles stratifiés

QA : Ammonium quaternaires

QV : qualité de vie

SOD : superoxyde dismutase

SS : la surface spécifique

SWy-2 : un type de la montmorillonite

T :la couche tétraédrique

TC : la tétracycline

TO : les feuillets de type tétraédrique-octaédrique

TOT : les feuillets de type tétraédrique-octaédrique-tétraédrique

## Liste des figures

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Processus de formation de l'argile (Velde, 2008).....                                                                                            | 6  |
| Figure 2 : Classification simplifiée des silicates des sous-familles et espèces d'argiles (Damato et al., 2022) .....                                       | 8  |
| Figure 3 : Image de microscopie électronique à balayage (MEB) de particules de kaolinite montrant des plaquettes empilées (Awad <i>et al.</i> , 2017) ..... | 9  |
| Figure 4 : Sites de Prélèvement des Échantillons d'Argile : Attar, Tzarifat et Hammam Boughrara, Maghnia .....                                              | 18 |
| Figure 5 : Aspect des Argiles avant le tamisage.....                                                                                                        | 19 |
| Figure 6 : Aspect des Argiles après le tamisage.....                                                                                                        | 20 |
| Figure 7 : Optimisation de l'extraction des molécules bioactifs par l'agitation magnétique ..                                                               | 20 |
| Figure 8 : Images des tests catalases pour les souches utilisées .....                                                                                      | 26 |
| Figure 9 : image microscopique de Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis, Escherichia coli objectif *100 .....                                            | 27 |
| Figure 10 : Image microscopique de Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa objectif *100 .....                                                        | 27 |
| Figure 11 : Résultats microbiologiques obtenus par la méthode de diffusion sur gélose pour trois types d'argile .....                                       | 28 |
| Figure 12 : Résultats des tests de Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) .....                                                                           | 28 |
| Figure 13 : Résultats des tests de Concentration Bactéricide Minimale (CMB) .....                                                                           | 28 |

## **Liste des tableaux**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Appareillages et produits utilisés.....              | 19 |
| Tableau 2 : Profil des souches microbiennes testées.....         | 22 |
| Tableau 3 : Les milieux de culture utilisé dans cette étude..... | 23 |

# ***Introduction***

Depuis l'aube de l'humanité, l'homme a toujours utilisé la terre glaise pour diverses utilisations, une matière dont il est lui-même façonné, d'après le coran « Nous créâmes l'homme d'une argile crissante, extraite d'une boue malléable » (sourate 15 AL-HIJR).

Le sol est bien plus qu'une simple couche superficielle de notre planète (**Bertola et al., 2021**), et l'un des piliers fondamentaux au maintien de la vie sur la terre. Il représente un écosystème d'une grande complexité et d'une richesse biologique considérable, abritant la plus vaste diversité biologique connue à ce jour. Au cœur de cette richesse se trouvent les communautés microbiennes, composées de milliards de bactéries, de champignons, de virus, d'archées, d'algues et de protozoaires (**Wang et al., 2024**), à titre d'exemple, un seul gramme de sol de surface peut contenir une densité remarquable allant de  $10^9$  jusqu'à  $10^{10}$  cellules procaryotes, entre  $10^4$  et  $10^7$  protistes, 100 à 1000 mètres d'hyphes fongiques et de  $10^8$  à  $10^9$  virus (**Ossowicki et al., 2021**). Ces micro-organismes jouent un rôle vital dans la décomposition de la matière organique, contribuent à la suppression des agents pathogènes, facilitent le cycle des nutriments indispensables aux plantes, et améliorent significativement la texture et la structure du sol (**Wang et al., 2024**).

L'augmentation mondiale de la résistance aux antibiotiques, combinée à la rareté de nouvelles molécules antimicrobiennes, a engendré une crise majeure dans la prise en charge des infections. Cette situation met en évidence l'urgence de découvrir de nouveaux agents antimicrobiens. Dans ce contexte, Les minéraux argileux naturels, utilisés depuis longtemps à des fins thérapeutiques et biomédicales, suscitent aujourd'hui un intérêt croissant en raison de leurs puissantes propriétés antimicrobiennes (**Behroozian et al., 2020**).

L'argile médicinale se forme par l'accumulation d'un mélange de minéraux tels que la smectite, la bentonite, la montmorillonite, la kaolinite, l'illite et la métahaloisite, avec des impuretés d'autres minéraux et fractions, résultant de l'altération chimique des roches et de la sédimentation de détrit. Les proportions quantitatives des différents minéraux sont très diverses, tout comme la composition chimique, et dépendent principalement du type de roche d'où provient l'argile, des conditions de sédimentation et des processus qui suivent. Elle est utilisée depuis l'antiquité pour ses propriétés thérapeutiques, suscitent un intérêt croissant dans la recherche scientifique actuelle. En effet, face à l'émergence de bactéries résistantes aux antibiotiques, les scientifiques cherchent de nouvelles sources de composés antibactériens, notamment dans les minéraux naturels comme les argiles. Des chercheurs ont démontré que l'argile possède des propriétés thérapeutiques variées en fonction de son mode d'utilisation, notamment dans le traitement de diverses pathologies telles que l'eczéma, les ulcères

purulents et les troubles digestifs, ainsi que dans la gestion de maladies chroniques comme le psoriasis. En outre, certaines argiles médicinales, comme l'argile de Kisameet, ont été étudiées pour leurs propriétés antibactériennes puissantes, efficaces contre plusieurs souches de bactéries multirésistantes, notamment l'*Enterococcus faecium*, le *Staphylococcus aureus*, la *Klebsiella pneumoniae*, l'*Acinetobacter baumannii*, la *Pseudomonas aeruginosa* et l'*Enterobacter sp.* Ces résultats suggèrent que ces argiles médicinales pourraient constituer une option thérapeutique prometteuse pour traiter les infections causées par ces bactéries (Spielvogel *et al.*, 2021).

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres principaux. Le premier chapitre est consacré à une revue approfondie des connaissances théoriques sur l'argile, incluant sa définition, ses propriétés physico-chimiques ainsi que ses applications potentielles. Le deuxième chapitre détaille la méthodologie adoptée dans le cadre de notre étude expérimentale, visant à évaluer l'effet antimicrobien d'un extrait d'argile sur plusieurs souches microbiennes, tant bactériennes que fongiques. Enfin, le troisième chapitre présente et discute les résultats obtenus, mettant en évidence l'absence d'activité antimicrobienne significative dans les conditions testées, tout en ouvrant des perspectives de recherche futures autour des variables pouvant influencer cette activité.

## *Partie bibliographique*

Ces dernières années, les minéraux argileux, considérés comme des remèdes anciens aux propriétés médicinales reconnues, ont suscité un nouvel intérêt. Utilisés depuis l'antiquité pour leurs effets antiseptiques et anti-inflammatoires, ils sont appliqués aussi bien en usage topique qu'à travers la géophagie à des fins thérapeutiques, notamment pour le traitement de troubles gastro-intestinaux ou comme source de supplémentation minérale. Grâce à leur grande diversité chimique et minéralogique, certaines argiles spécifiques sont aujourd'hui largement exploitées dans le domaine pharmaceutique et biomédical, en tant qu'ingrédients actifs, excipients ou supports de catalyseurs (**Behroozian *et al.*, 2020**).

Dans la période récente, les minéraux argileux ont suscité un intérêt croissant dans le développement de systèmes de transport et d'administration de médicaments, notamment par leur hybridation avec des principes actifs. Plusieurs propriétés les rendent particulièrement attractifs pour des applications pharmaceutiques ; leur grande surface spécifique, leur forte capacité d'adsorption, leur inertie chimique, leur aptitude à l'échange de cations, ainsi que leur faible voire absence de toxicité. Les minéraux argileux naturels, reconnus pour leurs avantages écologiques, économiques et non toxiques, incluent des structures unidimensionnelles (comme la palygorskite, la halloysite et la sépiolite) ainsi que bidimensionnelles (telles que la kaolinite et la montmorillonite). Leur structure cristalline et leurs propriétés physico-chimiques uniques, liées à leurs dimensions nanométriques, leur confèrent des caractéristiques distinctes par rapport aux matériaux conventionnels. De ce fait, ils sont de plus en plus utilisés comme alternatives aux matériaux synthétiques, souvent toxiques ou coûteux, dans de nombreux domaines (**Biddeci *et al.*, 2023**). Par ailleurs, les minéraux argileux sont également utilisés comme liants pour la production d'aliments granulés et comme adsorbants pour éliminer les mycotoxines et les métaux lourds. La bentonite, en particulier, est reconnue pour sa capacité à contrer les effets toxiques des mycotoxines chez les animaux, notamment les ruminants et les monogastriques, ce qui en fait un complément alimentaire efficace (**Damato *et al.*, 2022**).

## **1. Historique**

Dans l'ancienne Égypte, les médecins du pharaon utilisaient la terre nubienne pour ses propriétés anti-inflammatoires, ainsi que l'ocre jaune (un mélange d'argile et d'oxy/hydroxydes de fer) comme agent thérapeutique. Ces substances servaient à traiter les blessures cutanées, les maladies internes, et étaient également employées comme conservateurs lors de la momification, grâce à leurs vertus purifiantes et absorbantes. La célèbre « boue du Nil » était particulièrement recherchée pour ces usages. De son côté,

Cléopâtre (44-30 av. J.-C.), reine d'Égypte, utilisait la boue de la mer Morte à des fins cosmétiques. Aussi, bien avant les Égyptiens, le peuple Chinchorro, au Chili, pratiquait déjà la momification vers 7000 av. J.-C. Ils recouvraient les os des défunts d'argile après avoir retiré leurs organes (**Damato et al., 2022**).

Le British Museum conserve également le relief de la Lionne mourante de Ninive, qui représente probablement la plus ancienne illustration de paraplégie, datant de 650 avant J.-C (**Raju et al., 2021**).

Le terme argile désigne les matières naturelles qui ont été étudiés et définis de manière progressive au fil des siècles :

En 1546 : le mot argile est attribué à des matériaux à grains fins dans des formations géologique (Agricola). Cela marque l'une des premières montions historique du mot argile.

En 1600 : le terme est également utilisé pour désigner des sols (de Serre).

Au début du 18<sup>ème</sup> siècle : le concept d'argile a été évalué à partir des premières analyses chimiques réalisées sur le kaolin. Et au début du 19<sup>ème</sup> siècle, les argiles ont été identifiées comme espèces minérales dans la production de matériaux céramiques (**Brongniart, 1844**).

En 1847 : Ebelmen a mené des recherches sur la décomposition des roches sous attaque chimique et a exploré la fabrication de la porcelaine,

À la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, et grâce aux travaux effectués en diffraction de rayons X et en granulométrie que les chercheurs ont pu donner la définition correcte de l'argile. Bailey a restreint la définition des argiles aux phyllosilicates à grains fins. Puis en 1995, Guggenheim et Martin ont considéré que les argiles sont tous les composants minéraux à grains fins qui confèrent une plasticité après hydratation aux roches ou matériaux qui durcissent après séchage ou cuisson. Selon cette définition, la propriété de grain fin est la condition dominante. Cela signifie que les composants minéraux impliqués peuvent être une autre espèce minérale que les phyllosilicates.

## **2. Définition d'argile**

Le terme argile tire son origine du mot latin « argilla » ; dans les œuvres de Pline l'Encien, à côté d'argilla on rencontre également celui de « marga » d'où dérive le nom de marne ou margne. Du grec « argos » blanc ou plutôt de « argilos » matière blanche, dont parle le philosophe Theophraste.

L'argile est un remède d'origine volcanique, utilisée depuis la nuit des temps. Selon la classification de Wentworth, les argiles sont des roches sédimentaires constituées de minéraux aluminosilicates à grains fins, dont la granulométrie est inférieure à 2 microns. Elles présentent une plasticité notable lorsqu'elles contiennent une quantité d'eau appropriée et durcissent après séchage ou cuisson. Les minéraux phyllosilicates constituent la principale composante de ces argiles ; le préfixe « phyllo » fait référence à leur structure en feuillets (**Morel, 1989**). Il n'existe pas une argile unique, mais une grande variété, chacune se distinguant par une structure spécifique et des propriétés particulières (**Macías-Quiroga et al., 2018**). L'argile est notamment utilisée pour ses capacités d'absorption : elle capte les liquides ainsi que les bactéries, virus, champignons et toxines. Ces propriétés en font un remède appliqué en cataplasmes, aussi bien en usage externe qu'interne (**Benali et al., 2017**).

### **3. L'origine de l'argile**

Il est depuis longtemps reconnu en géologie que les minéraux présents dans les fractions argileuses des sols sont déterminants pour l'établissement de leurs principales caractéristiques physiques et chimiques (**Figure 1**). Dans la recherche en pédologie, les interrogations sur l'origine et la formation de ces minéraux ont donc inévitablement acquis une certaine importance. D'après Millot, trois mécanismes principaux sont à l'origine de la création des minéraux argileux (**Velde, 2008**) :

(a) L'hérédité détritique, par laquelle les minéraux argileux sont issus de roches mères déjà existantes ou de matériaux altérés ; ce processus résulte généralement d'érosion naturelle, tels que la pluie, le vent, le gel, ou les vagues, qui provoquent la désagrégation progressive des roches. Ces agents d'érosion permettent la libération de fragments minéraux issus directement des roches mères, donnant naissance à des minéraux argileux conservant les caractéristiques de leur roche d'origine.

(b) La transformation, où la structure silicate essentielle du minéral argileux est largement préservée, bien qu'il y ait une modification importante dans la région intercalaire de la structure.

(c) La néoformation, qui se produit lorsque le minéral argileux se forme à partir de la cristallisation de gels ou de solutions.

Les argiles héritées du sol peuvent être complexes et diverses, reflétant la variété de la roche mère et les processus de transformation et de néoformation qui ont pu se produire. Pour comprendre les processus actuels de formation des minéraux argileux, il est essentiel de

comprendre la contribution de l'hérédité. Un exemple de transformation des minéraux argileux est la séquence suivante : Illite---> vermiculite ---> smectite.

Cette évolution se réalise par un processus d'épuisement en potassium (K) dans les espaces interfoliaire, associé à une diminution progressive de la charge de la couche. La formation des minéraux argileux par néoformation dépend étroitement des conditions physico-chimiques spécifiques de l'environnement d'altération immédiat. Parmi ces facteurs, on retrouve le pH, la composition et la concentration des solutions du sol, ainsi que la nature du matériau de départ. D'autres éléments liés au contexte environnemental, tels que la température, les précipitations et le taux de percolation, jouent également un rôle déterminant. Millot a identifié la kaolinite et la montmorillonite comme des exemples représentatifs de produits issus de la néoformation, se développant dans des conditions pédogéniques contrastées. La kaolinite se forme principalement dans les sols tropicaux bien drainés et appauvris, mais riches en silice et alumine grâce à l'abondance d'eau. À l'inverse, la montmorillonite se développe dans des sols mal drainés, alcalins et riches en magnésium (Mg), calcium (Ca), silicium (Si), aluminium (Al) et fer (Fe). Ces observations ont été approfondies par des pédologues français tels que Pedro et Duchaufour. En 1964, Pedro identifie deux grands processus d'altération à l'origine des minéraux argileux : l'hydrolyse et l'acidolyse (Wilson, 1999).

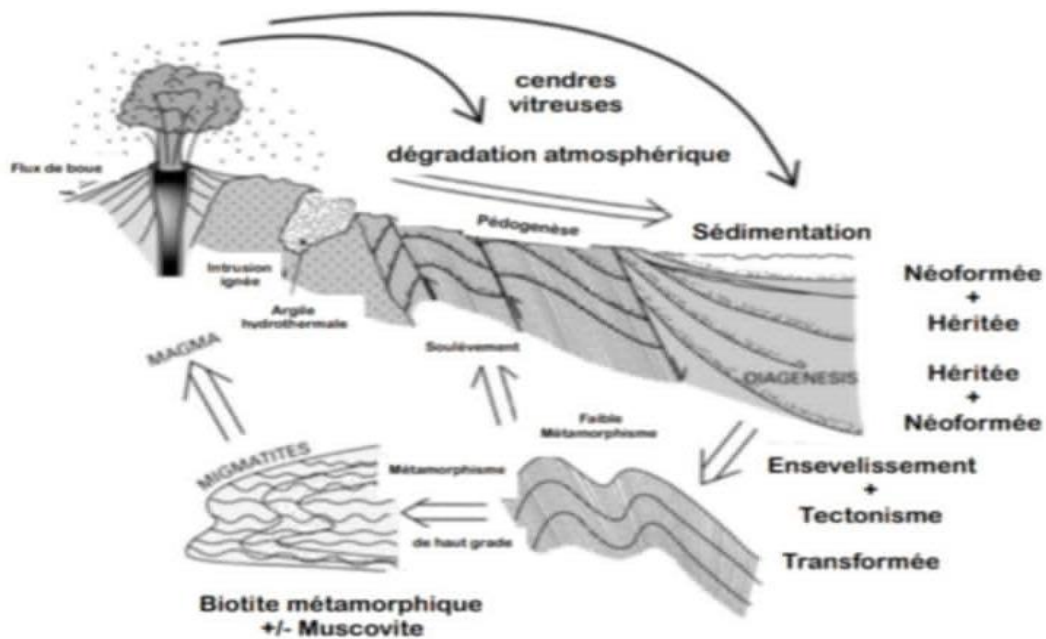


Figure 1 : Processus de formation de l'argile (Velde, 2008)

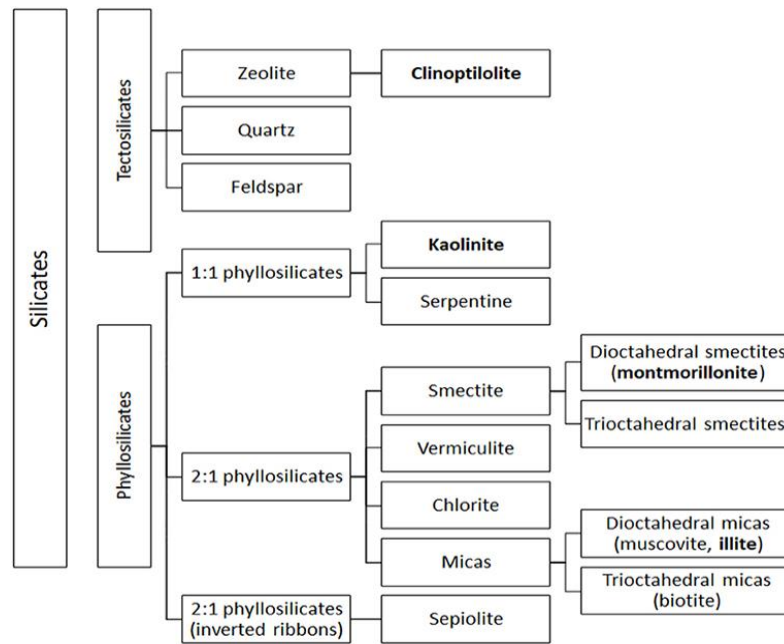
#### **4. La structure de l'argile**

Dans les sols naturels, il est rare de trouver les minéraux argileux sous un état pur ou homogène regroupé par simples groupes de minéraux. Elle est organisée en feuillets de phyllosilicates (**Damato *et al.*, 2022**). On procède ensuite à la division en cinq catégories (kaolinite, mica, smectite, vermiculite et chlorite) qui diffèrent selon leur charge nette (**Macías-Quiroga *et al.*, 2018**).

Le critère le plus couramment utilisé pour classer les argiles est la granulométrie. Cependant, il n'existe pas de consensus général sur les limites exactes de cette classification. Les sédimentologues, les géologues et les chimistes colloïdaux utilisent des seuils différents pour définir les argiles (**Damato *et al.*, 2022**),

#### **5. La classification des minéraux argileux**

Les argiles naturelles se présentent sous forme de mélanges de minéraux argileux purs, tels que l'illite, la kaolinite et la smectite, associés à diverses impuretés comme le quartz, la calcite et les restes organiques (**Figure 2**). Ces mélanges peuvent conférer des propriétés spécifiques aux argiles, comme la plasticité et la dureté, lorsqu'elles sont séchées ou cuites. Du point de vue géologique, les minéraux argileux sont utilisés pour décrire des argiles d'origines, d'âges et de compositions différents. Cependant, ces classifications demeurent controversées, en raison de la grande diversité des argiles, tant par leur origine, leur texture, leur composition minéralogique que par la variété de leurs applications, bien plus étendue que celle des autres matériaux (**Elgamouz *et al.*, 2019**).

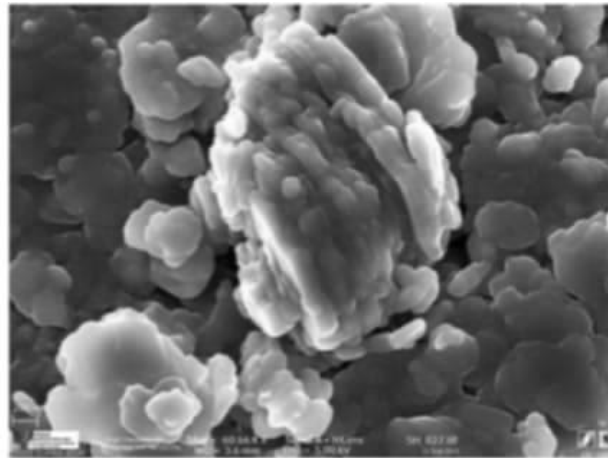


**Figure 2 :** Classification simplifiée des silicates des sous-familles et espèces d'argiles  
(Damato et al., 2022)

## 5.1. Classification selon la structure chimique

### 5.1.1. Groupe des phyllosilicates à feuillets

- La kaolinite :** Cette roche argileuse tire son nom du site chinois Kao-Ling, où elle fut découverte. Son nom est dérivé du terme chinois « gaoling ». Est un géomatériau du groupe des kaolins (formule structurale  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) (Müller et al., 2020), généralement de couleur blanche où chaque couche est composée de deux feuillets distincts (Figure 3) liés par des atomes d'oxygène (Detellier, 2018). Ce minéral insoluble dans l'eau, le feuillet est neutre, stable sur une large plage de pH et jusqu'à 400°C, résiste aux conditions acides et possède une faible teneur en humidité à l'équilibre. Sa nature non gonflante lui confère une variété d'applications cliniques. Grâce à son inertie chimique, la kaolinite est couramment utilisée comme excipient pharmaceutique, jouant plusieurs rôles tels que diluant, liant, agent de granulation, émulsifiant et agent de suspension. Toutefois, son utilisation la plus remarquable concerne son rôle d'ingrédient pharmaceutique actif dans divers domaines médicaux. En tant qu'agent hémostatique, elle favorise la coagulation sanguine en activant la cascade de coagulation. Plus précisément, à un pH d'environ 7 (celui du sang), sa charge de surface négative interagit avec le facteur XII, déclenchant sa conversion en forme active et accélérant ainsi le processus de coagulation (Müller et al., 2020).



**Figure 3 :** Image de microscopie électronique à balayage (MEB) de particules de kaolinite montrant des plaquettes empilées (Awad *et al.*, 2017)

- **Les halloysites :** L'halloysite est une argile naturelle de type phyllosilicate, appartenant à la famille des kaolins. sa formule chimique générale est  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_6(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Cette argile se présente le plus souvent sous forme de structures tubulaires appelées nanotubes d'halloysite (HNT). Les HNT se composent de 10 à 15 couches doubles d'aluminosilicate, séparées par un espace approximatif de 0,72 nm. L'organisation de ces feuillets confère à la surface externe une composition en groupes siloxane (Si–O–Si), tandis que la cavité interne est tapissée de groupes aluminol (Al–OH) de type gibbsite (Massaro *et al.*, 2022).
- **Les smectites :** constituent un groupe d'argiles comprenant notamment les montmorillonites, les bentonites, la beidellite, la nontronite et les saponites. Elles appartiennent à la classe des phyllosilicates et sont les plus utilisées dans l'élaboration de matériaux nanohybrides et nanocomposites, en raison de leurs propriétés de gonflement, de leur forte capacité d'échange cationique et de leur grande surface spécifique. Ces argiles sont généralement riches en calcium et, plus rarement, en sodium. Les smectites ont été largement employées pour la conception de nanocomposites polymères-argiles stratifiés (PLS). Deux types principaux de structures peuvent être obtenus dans ces nanocomposites : les structures intercalaires, où les chaînes de polymères s'insèrent entre les feuillets d'argile, et les structures exfoliées, où les feuillets d'argile sont complètement dispersés dans la matrice polymère (Elgamouz *et al.*, 2019).

- **La montmorillonite** :  $(M_x (Al_{2-x} Mg_x) (Si_4) O_{10} (OH)_2 \cdot n H_2 O)$  tire son nom de la ville de Montmorillon, située dans la Vienne, où elle a été découverte. Il s'agit du minéral argileux smectite (ACM) le plus étudié, en raison de ses nombreuses applications, notamment dans les adsorbants, les catalyseurs, les retardateurs de flamme et l'administration de médicaments (Wang et al., 2020). En tant que sous-groupe majeur des smectites, la montmorillonite naturelle se trouve principalement sous forme de bentonite, généralement riche en impuretés (Fareed et al., 2019). Elle possède une structure cristalline de type 2:1, caractérisée par une couche octaédrique d' $AlO_2 (OH)_4$  encadrée par deux couches tétraédriques de  $SiO_4$  (Zou et al., 2022).
- **Les illites** : Son appellation est inspirée de l'Illinois, un état des États-Unis. Elle contient une forte proportion de calcium (14%) et de fer (9%), tout en étant pauvre en magnésium. Elle a une capacité d'absorption d'environ 25% et un pouvoir d'adsorption limité. Elle reste néanmoins de qualité inférieure à la montmorillonite. Du point de vue structural, l'illite ressemble à la montmorillonite, mais ses couches sont liées entre elles par des ions potassium (Nadziakiewicz et al., 2019). Cette particularité confère à l'illite des propriétés distinctes de celles de la montmorillonite.

## **5.2. La classification selon la couleur**

Les argiles minérales présentent une grande diversité de couleurs et de teintes, déterminées par leur origine et leur richesse en minéraux. Leurs propriétés curatives varient en conséquence. Les oligo-éléments et les sels minéraux qu'elles contiennent participent à leur efficacité, mais d'autres facteurs entrent également en jeu dans leurs effets thérapeutiques (Lafi & Al-Dulaimy, 2011). Mais ils ne sont pas classifiés en fonction de leur couleur, car une même teinte peut être associée à plusieurs types d'argiles. Par exemple, la couleur verte peut être observée aussi bien chez la montmorillonite, l'illite que le chlorite. La variation des teintes est principalement influencée par la concentration en oxyde de fer :

- **Blanche** : ces argiles ne contiennent aucune substance colorante, elle est généralement constituée de kaolinite, bien que certaines smectites puissent également être présentes.
- **Verte** : Sa faible teneur en fer lui confère cette teinte. Elle appartient le plus souvent aux familles des montmorillonites, des illites et des smectites.
- **Jaune** : Riche en oxyde de fer et en magnésie, cette variété d'illite est reconnue pour ses propriétés apaisantes. Utilisée en masque, elle bénéficie aussi bien à la peau qu'aux cheveux.

- **Rouge** : Principalement composée d'illites, elle se distingue par une forte concentration en oxyde de fer. Très reminéralisante, elle est idéale pour les soins des peaux irritées, fatiguées ou ternes.
- **Rose** : Cette teinte n'existe pas naturellement. Elle résulte d'un mélange d'argile rouge et d'argile blanche, combinant les bienfaits des deux : une richesse en oligo-éléments tout en atténuant la teneur en fer.

## **6. Les propriétés des minéraux argileux**

Les propriétés physiques et chimiques naturelles des argiles comme la capacité d'échange cationique, la surface spécifique, la porosité et acidité de surfaces sont liées étroitement à leur structure atomique, leur texture inter-cristalline et leur composition chimique. On procède souvent à des modifications de ces propriétés afin d'obtenir une adaptation bien particulière à un emploi bien défini des argiles traitées (Neji *et al.*, 2009).

### **6.1. La surface spécifique**

La surface spécifique (SS), également connue sous le nom « aire massique » peut être comprise de deux manières. D'une part, il désigne la surface totale des particules rapportée à une unité de masse ou de volume d'un échantillon donné. D'autre part, dans le cas des minéraux argileux, la surface spécifique est souvent considérée comme une propriété caractéristique d'un type ou d'une famille des minéraux. Dans ce contexte, le concept inclut donc une notion de spécificité liée à la nature même du minéral (Hénine *et al.*, 1969).

Les roches à forte teneur en argile se caractérisent par une grande surface spécifique et une structure poreuse complexe, déterminée par la microstructure et l'arrangement des particules d'argile. Les pores présentent des dimensions et des formes variées, allant de la taille nanométrique à la taille micronique entre les agrégats d'argile (Garvie *et al.*, 2024).

### **6.2. La capacité d'échange cationique**

La capacité d'échange cationique (CEC) des argiles correspond à leur faculté à attirer, retenir et échanger des cations présents dans leur environnement. Lorsqu'elle est élevée, elle permet un transfert facilité des ions métalliques depuis la surface des particules argileuses vers le milieu environnant (Azmi *et al.*, 2021).

### **6.3. La capacité de gonflement**

La capacité de gonflement et la stabilité des argiles sont des propriétés déterminantes pour leur utilisation dans des domaines variés, allant des cosmétiques à l'extraction pétrolière. Ces

propriétés sont fortement influencées par les échanges de cations avec le milieu environnant. En effet, l'introduction de cations aux caractéristiques d'hydratation différentes modifié sensiblement le comportement des argiles, impactant leur performance dans des applications telles que l'enrichissement des sols, le confinement des déchets nucléaires, ou encore la formation de produits pharmaceutiques et cosmétique (**Adapa & Malani, 2022**).

La montmorillonite (MMT) et le beidellite (BD) portent des charges négatives dans leurs couches en forme de plaque en raison de la substitution isomorphe d'atomes de silicium (Si) ou d'aluminium (Al) par des atomes de valence inférieur. Pour équilibrer la charge, ces substitutions sont associées à des cations chargés positivement dans l'espace intercouche. En présence d'eau, les cations intercalaires attirent les molécules d'eau, écartant les couches d'argile, dans un processus généralement décrit comme l'hydratation de l'argile ou le gonflement de l'argile. Les recherches en informatique concernant le gonflement de l'argile ont généralement recours aux méthodes de Monte Carlo (Mc) ou de dynamique moléculaire (MD) pour explorer la charge d'eau à l'équilibre, l'interstice et la structure ainsi que la dynamique de l'eau confinée et des ions (**Chen *et al.*, 2022**).

Une étude récente montre que dans la montmorillonite (une argile de type smectite), le gonflement de la structure est lié à l'échange des ions (cations) présentes entre ses feuillets. Quand l'environnement chimique change (comme l'activité de l'eau ou la nature des ions en solution), cela influence l'état d'hydratation de l'argile. Cet état dépend de la capacité de l'argile à attirer ou libérer des ions, ce qui modifie la quantité d'eau retenue dans les espaces interfoliaire. Ainsi, certains ions favorisent le gonflement, tandis que d'autres peuvent provoquer l'effondrement de la structure.

#### **6.4. Absorbance et adsorbance**

L'adsorption est une propriété importante des argiles, qui diffère de l'absorption. Alors que l'absorption implique l'intégration de molécules à l'intérieur du matériau, l'adsorption correspond à leur fixation à la surface, que ce soit sous forme liquide ou gazeuse. Cette fixation peut résulter de forces ioniques, électrostatiques ou de tensions superficielles. On distingue deux formes d'adsorption : l'adsorption physique, basée sur des interactions faibles de type Van der Waals, permettant la rétention de molécules organiques grâce à la faible liaison entre les feuillets et les cations interfoliaires ; et l'adsorption chimique, plus forte, reposant sur des liaisons ioniques, qui constitue la principale source du pouvoir adsorbant des argiles. Sur le plan structural, les argiles présentent une répartition de charges caractéristique : les atomes de silicium (Si) et d'aluminium (Al), situés à l'intérieur, sont positivement

chargés, tandis que les ions oxygène (O) et hydroxyles (OH), en surface, sont négatifs. Ces charges négatives sont équilibrées par des cations tels que le sodium (Na<sup>+</sup>) fixés à la surface des feuillets.

L'adsorption est aujourd'hui considérée comme l'une des solutions les plus performantes pour le traitement des eaux usées, en raison de son coût modéré, de sa mise en œuvre simple, de sa flexibilité en termes de conception, de l'absence d'effets polluants secondaires et de la possibilité de régénérer efficacement l'adsorbant (**El Mouden *et al.*, 2023 ; Dabagh *et al.*, 2022**). Toutefois, l'efficacité de cette méthode repose largement sur les propriétés de l'adsorbant employé, telles que sa nature, son coût, sa disponibilité et sa capacité de régénération.

## **7. Les domaines d'applications des argiles**

### **7.1. Application environnementale (traitement des eaux usées)**

Aujourd'hui, le développement rapide des technologies avancées découle d'une préoccupation mondiale majeure liée à la dégradation de l'environnement (**Jaishankar *et al.*, 2014**). En effet, les eaux usées issues de divers processus industriels représentent une des principales sources de pollution des sources d'eau naturelles. Les recherches scientifiques ont mis en évidence l'existence d'un grand nombre de micro-contaminants inorganiques et organiques, dont plus de 700 ont été identifiés comme étant cancérogènes et hautement toxiques. Il est intéressant de noter que l'adsorption est la plus grande partie du processus d'élimination des contaminants car elle est peu coûteuse et facile à utiliser, et offre une capacité d'élimination maximale pour divers polluants. Les minéraux argileux naturels, en particulier les kaolinites, ont été largement étudiés et sélectionnés comme nouveaux adsorbants pour éliminer divers contaminants présents dans l'eau (**Ayalew, 2022**).

Afin de surmonter ces limitations, ils ont développé un biomatériau innovant : un hydrogel d'argile et d'alginate. Ce matériau, issu de l'encapsulation de bentonite organophile dans l'alginate de sodium (A-OB), a démontré une capacité d'adsorption accrue du bisphénol A (BPA), un polluant organique modèle. Les tests en batch ont révélé une adsorption optimale à pH 2-7, avec une capacité maximale de 252,9 mg/g (isothermes de Langmuir et Freundlich). Ces observations sont significatives, encourageantes et inédites, mettant en évidence l'intérêt de l'utilisation de substances naturelles biodégradables pour la préservation de l'environnement (**Djebri, 2017**).

## **7.2. Application dans la construction**

Depuis de nombreuses années, on utilise les briques comme matériau de construction, et le contenu actuel des briques se compose de 50% d'argile, le reste étant constitué de sable et d'autres substances granulaires. Cependant, ces briques présentent une faible résistance à la compression. Des recherches récentes ont montré que l'incorporation de nano-argiles peut améliorer significativement cette résistance, les chercheurs ont montré que l'ajout de 5% de nano-argile peut augmenter la résistance à la compression jusqu'à 4,8 fois par rapport aux briques classiques. De plus, les nano-argiles ont également été trouvées plus durables que les briques d'argile normales (**Mohajerani et al., 2019**).

## **7.3. Application dans le domaine cosmétique**

Les argiles sont des matériaux naturels aux propriétés exceptionnelles, qui trouvent des applications variées en cosmétologie. La composition chimique et minérale ainsi que les caractéristiques physico-chimiques de ces matériaux, conditionnent leur utilisation dans différents domaines de la cosmétique (**Da Silva Favero et al., 2019**).

Les argiles ont des ingrédients cosmétiques actifs reconnus pour leurs propriétés nettoyantes, ainsi que pour leurs bienfaits anti-âge, antirides et de protection solaire. Parmi les minéraux argileux les plus couramment utilisés dans les produits cosmétiques, on trouve notamment le talc et le kaolin, qui sont souvent intégrés dans les masques à l'argile pour leurs propriétés bénéfiques pour la peau (**Chuesomboon et al., 2025**).

## **7.4. Application dans le domaine médicale**

Depuis des siècles, l'argile est utilisée pour ses propriétés thérapeutiques, et son application en médecine continue de susciter un intérêt croissant dans les industries pharmaceutiques et médicales, dont on mentionne :

- (a) L'antidiarrhéique CASAD, une argile naturelle de type montmorillonite calcique (aluminosilicate de calcium), représente une alternative thérapeutique prometteuse pour les patients atteints d'un cancer médullaire de la thyroïde (CMT) grâce à ses propriétés d'adsorption des toxines et des protéines inflammatoires associées à la diarrhée. Pendant la semaine avant le traitement, les patients avaient entre 2 et 7 selles par jour, souvent liquides, et après une semaine de traitement avec le CASAD, une réduction d'au moins 20% du nombre de selles par jour a été observé (**Dadu et al., 2015**).

- (b) Les argiles riches en fer sont couramment désignées comme « argiles cicatrisantes », essentiellement pour leur propriété de libérer des ions métalliques, tels que les ions  $\text{Fe}^{2+}$ , qui sont à l'origine de l'activité antimicrobienne. Ces ions  $\text{Fe}^{2+}$  génèrent des espèces réactives de l'oxygène (ERO), capables d'endommager les membranes cellulaires et l'ADN. Par ailleurs, la présence d'ions  $\text{Al}^{3+}$  renforce la toxicité de ces argiles, l'aluminium pouvant perturber la structure des membranes et ainsi favoriser leur oxydation (Massaro *et al.*, 2022).
- (c) Les premières preuves de l'efficacité bactéricide de certaines argiles ont été rapportées par Line Brunet de Courssou, une humanitaire française qui dirigeait une clinique en Côte d'Ivoire, a mis en évidence l'efficacité bactéricide d'une argile connue sous le nom d'argile verte française. Les résultats positifs ont été soigneusement documentés, notamment à travers des photographies montrant une nette amélioration des lésions (Gomes *et al.*, 2020).

#### **7.4.1. Les adhésifs dentaires**

Les adhésifs dentaires sont largement utilisés en dentisterie restauratrice pour leur simplicité d'utilisation. Ils permettent de créer une liaison micromécanique entre le matériau et la structure dentaire. Des études ont démontré que l'ajout de faibles concentrations d'argile (0,2%) améliore significativement le module d'élasticité de la matrice standardisée, sans affecter le degré de conversion. Cette découverte ouvre des perspectives pour l'utilisation de ces matériaux comme système d'adhésion entre la dentine et la résine de restauration, avec un fort potentiel pour améliorer la durabilité du système adhésif (Menezes & Silva, 2016).

#### **7.4.2. L'activité antimicrobienne**

De nombreux articles scientifiques détaillent et explorent les mécanismes d'action des « argiles tueuses », qui pourraient représenter une solution potentielle aux infections causées par les superbactéries. Ces superbactéries désignent des agents infectieux ou des affections provoquées par des micro-organismes qui présentent une résistance à plusieurs antibiotiques.

L'activité antimicrobienne de différentes argiles hydratées contre *Mycobacterium ulcerans* a été évaluée *in vitro* et *in vivo*. En laboratoire, cinq types d'argiles (CB07, CB08, CB09, CB10 et BY07) ont été testés à une concentration de 10 %. Les résultats ont montré que les argiles CB07 et CB09 présentaient une activité bactéricide complète en seulement 7 jours, tandis que CB08 nécessitait 14 jours, BY07 21 jours, et CB10 n'inhibait que faiblement la croissance bactérienne même après 28 jours. Parallèlement, les lixiviats d'argiles CB08, CB09 et CB10

n'ont pas montré d'activité inhibitrice sur 28 jours. En revanche, l'incubation avec les lixiviats d'argiles CB07 et BY07 présentant un effet bactéricide significatif. En conditions *in vivo*, des souris infectées expérimentalement par *M. ulcerans* ont été traitées localement pendant 22 jours avec des cataplasmes d'argile hydratée CB09. Les résultats ont révélé une réduction nette des symptômes cliniques (érythème, ulcération) et une baisse importante de la charge bactérienne. *M. ulcerans* n'était plus détectable à la fin du traitement. Ces résultats suggèrent que certains types d'argiles, notamment CB09, pourraient représenter une option thérapeutique complémentaire, efficace et peu coûteuse pour le traitement topique de l'ulcère de Buruli (Adusumilli & Haydel, 2015).

#### **7.4.3. Interaction d'argile avec les antibiotiques**

Les antibiotiques sont largement utilisés en médecine humaine et vétérinaire, ainsi que dans l'agriculture, pour prévenir et traiter les infections bactériennes. Toutefois, leur présence croissante dans l'environnement, en particulier dans les estuaires et les zones côtières, constitue une menace majeure pour l'environnement écologique ainsi que pour la santé humaine, en raison de leur transmission tout au long de la chaîne alimentaire. En effet, ces substances peuvent induire une résistance bactérienne et perturber les écosystèmes aquatiques, de plus, les antibiotiques peuvent se concentrer dans les organismes aquatiques par un phénomène de bioaccumulation. Parmi les antibiotiques les plus détectés dans l'environnement, la tétracycline (TC) est particulièrement préoccupante en raison de son utilisation massive et de sa persistance dans les milieux naturels. Une fois rejetée dans les eaux usées, elle peut être adsorbée par les sédiments et interagir avec différents matériaux présents dans l'environnement, notamment les minéraux argileux. Une équipe de recherche ont étudié en laboratoire l'adsorption de la tétracycline (TC) sur la montmorillonite (SWy-2), particulièrement étudiée pour ses capacités d'adsorption. Les résultats ont révélé que l'adsorption était plus efficace en milieu acide, car la TC est majoritairement sous forme cationique, attirée par la charge négative de l'argile, tandis qu'elle diminuait progressivement lorsque le pH augmentait. Cette tendance s'explique par la nature ionisable de la tétracycline. Par ailleurs, les chercheurs ont examiné l'influence de la force ionique en ajoutant différentes concentrations de NaCl à la solution de tétracycline. Ils ont constaté que l'adsorption de la TC diminuait à mesure que la concentration en sel augmentait, cela s'explique par la compétition entre les ions  $\text{Na}^+$  et la TC pour les sites d'adsorption sur la montmorillonite. De plus, la diffraction des rayons X (XRD) a été utilisée pour observer les changements dans la structure cristalline du minéral après l'adsorption, montrant une augmentation de

l'espacement interfoliaire (1.464 à 1.529), ce qui indique l'insertion de molécules de tétracycline entre les couches du minéral (Shang *et al.*, 2024).

#### **7.4.4. L'effet protecteur de l'argile et de la nano-argile contre la toxicité de l'aflatoxine**

L'aflatoxine B1 (AFB1) est une mycotoxine produite par *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus*, qui peut causer des dommages hépatiques et rénaux chez les animaux et les humains. Les minéraux argileux, tels que la montmorillonite, la bentonite et la clinoptilolite, ont été étudiés pour leur capacité à adsorber les mycotoxines et à réduire leur biodisponibilité. Utilisés comme agents anti-agglomérants dans l'alimentation animale. Les études ont montré que l'ajout de minéraux argileux à l'alimentation animale peut prévenir les maladies associées à l'aflatoxicose (Nones *et al.*, 2018). Des études *in vitro* ont également démontré que les minéraux argileux peuvent réduire la toxicité induite par les mycotoxines dans les cellules. En particulier, Abbes *et al.* (2017) ont rapporté que l'ajout de montmorillonite réduisait la mortalité liée à l'AFB1 dans une lignée cellulaire de cancer du côlon *in vitro*.

Les résultats d'une étude ont montré que l'aflatoxine induisait une augmentation significative des dommages à l'ADN, comme indiqué par une augmentation de la longueur de la queue, du pourcentage d'ADN migré et du moment de la queue. Cependant, les traitements avec l'argile et la nano-argile ont réduit ces dommages, bien que les niveaux de fragmentation de l'ADN soient restés supérieurs à ceux des groupes témoins. Les résultats ont indiqué le rôle protecteur de l'argile et de nano-argile dans l'atténuation de l'aflatoxine et la réduction de ses effets nocifs (El-Sada *et al.*, 2021).

#### **7.5. Autres applications**

La géophagie, ou consommation de terre, est un comportement courant chez les animaux. On suppose que cela leur permet de consommer des minéraux argileux, qui peuvent aider à éliminer les toxines présentes dans les aliments et à soulager les troubles gastro-intestinaux. Dans un avenir proche, le changement climatique risque d'aggraver la présence de mycotoxines dans les aliments pour animaux, ce qui deviendra un problème majeur. Dans ce contexte, l'utilisation des argiles dans les aliments pour animaux devrait augmenter, en raison de leurs propriétés physico-chimiques, de leur faible toxicité et de leur éco-compatibilité (Damato *et al.*, 2022).

*La partie expérimentale*

## 1. Objectif du travail

Notre travail repose sur l'évaluation de l'effet antimicrobien de l'argile contre les microorganismes pathogènes, afin de déterminer son potentiel en tant qu'agent antimicrobien naturel

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Matériel naturel

#### 2.1.1. Echantillons

- Récolte des échantillons d'argile :

La collecte des échantillons d'argile, composante essentielle de cette étude, a été réalisée au cours du mois de février 2025, Sous un climat modéré. Les sites de prélèvement ont été sélectionnés dans trois régions distinctes de la wilaya de Tlemcen, en Algérie, afin d'assurer une diversité représentative (**Figure 4**), dont en mentionne :

1. Maghnia : située à environ 39 km au nord-ouest de Tlemcen.
2. Attar : située à environ 71,2 km Est-Ouest de Tlemcen.
3. Tzarifat : située à environ 10 km au sud-ouest de Tlemcen.

Ces échantillons ont été prélevés manuellement à l'aide d'une truelle, un outil utilisé en maçonnerie, permettant d'extraire l'argile à des profondeurs variables. Cette approche a été dictée par l'accessibilité et la disponibilité des dépôts d'argile sur chaque site. Chaque échantillon a été soigneusement étiqueté immédiatement après sa récolte pour garantir son origine, et conservés dans des sacs en plastique pour être transportés au laboratoire.



**Figure 4** : Sites de Prélèvement des Échantillons d'Argile : Attar, Tzarifat et Hammam Boughrara, Maghnia

## 2.2. Appareillages et produits

Nous avons utilisé les instruments et les produits chimiques indiqués dans le tableau

**Tableau 1 :** Appareillages et produits utilisés.

| Appareillages      | Verreries           | Autre matériels  | Milieus de culture |
|--------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| Plaque chauffante  | Béchers             | Papier aluminium | Muller Hinton      |
| Balance électrique | Fiole jugée         | Papier absorbant | Sabouraud          |
| Réfrigérateur      | Pipettes pasteur    | Papier filtre    |                    |
| Bec bunsen         | Flacons             | Portoirs         |                    |
|                    | Tube à essai        | Pisette          |                    |
|                    | L'entonnoir         | Papier Wathman.  |                    |
|                    | Bouteilles en verre |                  |                    |
|                    | Erlenmeyer          |                  |                    |

## 2.3. Méthodes

### 2.3.1. Préparation des échantillons d'argile

Dans cette étape, trois types d'argile ont été utilisés : l'argile verte, l'argile marron et l'argile blanche. Chaque type a été broyé soigneusement à l'aide d'un mortier afin d'obtenir une poudre fine et homogène (**Figure 5**). Une fois le broyage terminé, les poudres obtenues ont été soumises à un tamisage successif à l'aide de deux tamis : l'un de mailles de 0,5 cm, suivi d'un second de 0,2 cm, afin d'éliminer les particules grossières et d'uniformiser la granulométrie (**Figure 6**).



**Figure 5 :** Aspect des Argiles avant le tamisage



**Figure 6 :** Aspect des Argiles après le tamisage

Préparation des suspensions d'argile : Une masse de 10g de chaque type d'argile a été prélevée, puis dispersée dans une quantité appropriée d'eau déminéralisée. Le mélange a été agité doucement afin d'assurer une homogénéisation progressive sans formation de grumeaux. Le volume final de chaque suspension a été ajusté à 50mL à l'aide d'une fiole jaugée.

### **2.3.2. Extraction du contenu actif**

Les suspensions obtenues ont ensuite été placées dans des béchers, recouverts de papier aluminium, puis déposées sur un agitateur magnétique et soumises à une agitation continue pendant 24 heures. Cette agitation favorise la libération des molécules actives contenues dans les argiles (**Figure 7**).



**Figure 7 :** Optimisation de l'extraction des molécules bioactifs par l'agitation magnétique

### **2.3.3. Filtration et stockage des solutions d'argile**

Après 48 heures d'agitation, les trois solutions d'argile ont été récupérées et filtrées à l'aide de papier filtre Whatman placé dans un entonnoir et de bouteilles en verre stériles. La filtration a été réalisée sur une période de 2 jours pour obtenir un filtrat homogène et clair. Les filtrats ont ensuite été stockés dans un réfrigérateur à une température comprise entre 2 et

8 °C pour une conservation optimale des propriétés de l'argile. Le pH des filtrats obtenus a été mesuré, révélant des valeurs comprises entre 7 et 8.

#### **2.3.4. L'étude microbiologique**

##### **2.3.4.1. L'étude biochimique**

###### **2.3.4.1.1. Teste de catalase**

La catalase (CAT), une enzyme importante classée comme oxydoréductase (EC 1.11.1.6) et appartenant au groupe des enzymes antioxydantes, joue un rôle important dans la protection des organismes vivants contre le stress oxydatif. Plusieurs méthodes ont été développées pour mesurer l'activité de la catalase (CAT) chez les bactéries, L'une des méthodes les plus simples consiste à utiliser le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) afin de détecter la présence de catalase. Les bactéries catalase-positives décomposent le  $H_2O_2$  en eau et en oxygène, entraînant la formation de bulles visibles, indicatrices de l'activité enzymatique (Hadwan *et al.*, 2024).

#### **2.3.5. L'étude biologique**

##### **2.3.5.1. Examens microscopiques**

###### **2.3.5.1.1. Coloration de gram**

La coloration de Gram est une méthode fondamentale en microbiologie, introduite en 1882 par le bactériologiste danois Hans Christian Gram pour détecter les bactéries responsables de la pneumonie. Elle constitue souvent la première étape dans l'identification des bactéries. Elle permet de distinguer les bactéries en deux groupes selon leur paroi cellulaire : les Gram positives apparaissent brun-violet, tandis que les Gram négatives prennent une coloration rose au microscope (Tripathi *et al.*, 2025). Cette distinction s'est révélée particulièrement précieuse dans de nombreux domaines, notamment le diagnostic médical, la sécurité alimentaire et la surveillance de l'environnement, soulignant ainsi son utilité dans des contextes variés (Işıl *et al.*, 2025).

- **Protocol :**

- Déposer une petite goutte d'eau distillée stérile au centre d'une lame de microscope.
- À l'aide d'une anse de platine stérile (préalablement flambée et refroidie), prélever une petite quantité d'une colonie bactérienne pure.
- Mélanger délicatement la colonie avec la goutte d'eau distillée pour obtenir une suspension homogène. Étaler finement la suspension sur la lame pour créer un frottis mince.

- Fixer le frottis en passant la lame trois fois rapidement dans la flamme du bec Bunsen.
- Appliquer du violet de cristal afin de réaliser la coloration initiale de la lame
- Déposer le Lugol sur la lame, laisser agir pendant une minute, puis rincer à l'eau. Cette étape permet de fixer la coloration violette et de la stabiliser.
- Décolorer le frottis goutte par goutte avec l'alcool jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de la lame soit incolore (généralement quelques secondes), puis laver à l'eau.
- Appliquer de la fuchsine basique afin de teinter en rose les bactéries Gram négatives décolorées, ce qui permet de les distinguer plus facilement, puis sécher la lame en la plaçant entre deux feuilles de papier buvard.
- Observer la lame au microscope optique à un grossissement de x100 en utilisant l'huile à immersion.

## 2.4. L'étude de l'activité antimicrobienne

Cette étude a été réalisée au sein du laboratoire de biologie des produits naturels, dans le but de tester l'effet antimicrobien *in vitro* des extraits d'argile, en utilisant des souches de références dont la liste est présentée dans le tableau 2.

**Tableau 2 :** Profil des souches microbiennes testées.

| Type      | Microorganismes               | à Gram  | Code        |
|-----------|-------------------------------|---------|-------------|
| Bactéries | <i>Staphylococcus aureus</i>  | Positif | ATCC 29213  |
|           | <i>Bacillus subtilis</i>      |         | ATCC 6633   |
|           | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Négatif | ATCC 27853  |
|           | <i>Escherichia coli</i> TEM   |         | ATCC 35218  |
|           | <i>Klebsiella pneumoniae</i>  |         | ATCC 700603 |
| Levure    | <i>Candida albicans</i>       | /       | ATCC 10231  |

### 2.4.1. Milieux de culture

Les milieux de culture microbiologique sont des mélanges spécifiques de substances nutritives qui permettent la croissance et la multiplication des micro-organismes. Ces milieux sont essentiels pour étudier l'activité antimicrobienne, car ils fournissent les conditions

nécessaires pour que les bactéries se développent et soient testées vis-à-vis des agents antimicrobiens étudiés. Aujourd'hui, il existe de nombreux milieux de culture disponibles dans le commerce, contenant divers composants, notamment des nutriments, des vitamines et des facteurs de croissance (**Chronopoulou & Harper, 2015**). Les milieux utilisés durant cette étude, sont indiqués dans le tableau 3.

**Tableau 3 :** Les milieux de culture utilisés dans cette étude.

| Milieu de culture       | pH  | Utilisation                                                |
|-------------------------|-----|------------------------------------------------------------|
| Gélose nutritive        | 6.0 | Pour la conservation des souches                           |
| Bouillon Mueller-Hinton | 7.4 | Pour le repiquage des bactéries                            |
| Gélose Mueller-Hinton   | 7.4 | Pour l'évaluation d'activité antimicrobienne des bactéries |
| Bouillon Sabouraud      | 5.6 | Pour le repiquage de levure                                |
| Gélose Sabouraud        | 5.6 | Pour l'évaluation d'activité antimicrobienne de levure     |

#### **2.4.2. Préparation de l'inoculum**

La préparation de l'inoculum bactérien a été réalisée à partir de colonies bactériennes âgées de moins de 24 heures, cultivées en bouillon Mueller Hinton (BMH). Une colonie isolée a été prélevée à l'aide d'une anse de platine et homogénéisée dans 10 ml de bouillon, puis incubée pendant 18 à 24 heures à 37 °C pour obtenir une pré-culture. La préparation de l'inoculum de *Candida albicans* a été réalisée selon le même protocole que pour les bactéries, à partir de colonies fongiques âgées de moins de 24 heures, cultivées en milieu Sabouraud incubée à 30 °C pendant 48 heures.

La turbidité de la suspension microbienne a été ajustée au standard McFarland 0,5 à l'aide d'un colorimètre. Cette étape a consisté à ajouter soit du milieu de culture stérile (BMH ou BS) pour diluer les suspensions trop concentrées, soit de la culture pour augmenter la concentration si nécessaire. Les suspensions bactériennes ont été ajustées à environ  $10^8$

UFC/mL (densité optique comprise entre 0,08 et 0,1 à 625 nm), tandis que les suspensions de levures ont été ajustées à environ  $10^6$  UFC/mL (densité optique comprise entre 0,08 et 0,1 à 625 nm). L'ensemencement des milieux de culture a été réalisé dans les 15 minutes suivant la préparation de l'inoculum pour garantir la fiabilité des résultats.

## **2.5. Détermination de la sensibilité des souches aux extraits des argiles**

### **2.5.1. Méthode de diffusion sur gélose**

La sensibilité des souches bactériennes aux extraits des argiles a été évaluée par la méthode de diffusion sur gélose (Toty *et al.*, 2013). Des boîtes contenant le milieu Mueller-Hinton et Sabouraud ont été ensemencées par inondation à l'aide d'une suspension bactérienne dont la turbidité avait été ajustée au standard McFarland 0,5 (soit environ  $10^8$  UFC/mL). Suite à l'ensemencement, des puits de 6 mm de diamètre ont été réalisés aseptiquement dans la gélose à l'aide d'une pipette pasteur. Chaque puits a ensuite été rempli avec 100  $\mu$ L d'extrait d'argile. Les boîtes ont été placées dans un réfrigérateur à 4 °C pendant 30 minutes à une heure afin de permettre la diffusion des extraits, puis incubées à 37 °C pendant 18 à 24 heures, les différents types d'argile ont été répétés deux fois.

### **2.5.2. Détermination des concentrations inhibitrices CMI et CMB**

La CMI est définie comme la concentration la plus faible qui empêche la croissance visible d'une bactérie à un degré prédéfini (50 %, 90 % ou inhibition totale) (Kidd *et al.*, 2021). Outre la CMI, il est également possible de déterminer les concentrations minimales bactéricides (CMB), qui correspondent à la plus faible concentration d'un antimicrobien capable de tuer totalement les micro-organismes survivants de l'inoculum (Andrews, 2001). Ces méthodes sont essentielles pour choisir le traitement antimicrobien approprié et suivre l'évolution de la sensibilité aux antimicrobiens, permettant ainsi une prise en charge efficace des infections et une lutte contre l'antibiorésistance (Hossain, 2024).

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé la méthode de dilution en bouillon, la micro-dilution a été mise en œuvre en utilisant des microplaques. Cette technique implique la préparation de dilutions en série de l'agent antimicrobien étudié, lesquelles sont ensuite introduites dans les puits de faible volume de la microplaque. Parallèlement, une suspension bactérienne est préparée et ajoutée à chaque puits contenant les différentes concentrations de l'antimicrobien. L'incubation de la microplaque permet d'évaluer l'effet de l'antimicrobien sur la croissance bactérienne dans ces petits volumes réactionnels.

Des dilutions en série sont préparées dans une microplaque de 96 puits avec une gamme de concentrations choisie. Nous ajoutons d'abord 100  $\mu\text{L}$  de bouillon Muller Hinton (MH) dans chaque puits, puis nous déposons 100  $\mu\text{L}$  d'extraits dans le puits 2. Ensuite, nous effectuons des dilutions successives de puits en puits en transférant 100  $\mu\text{L}$  de chaque puits dans le suivant jusqu'au 24<sup>ème</sup> puits, où les 100  $\mu\text{L}$  restants sont jetés. Enfin, nous ajoutons 100  $\mu\text{L}$  de suspension bactérienne dans les puits 1 et de 3 à 24 pour obtenir un volume final de 200  $\mu\text{L}$  avec une charge finale de micro-organismes de  $5 \times 10^5$  Unités Format Colonie par millilitre (UFC/ml), avant d'incuber les microplaques pendant 24 heures à 37 °C. Le lendemain, on peut déterminer grâce à cette culture la CMB.

### **2.5.3. Repiquage des Cultures**

À partir de chaque puits qui n'a pas montré de croissance visible en CMI, on prélève une petite quantité de la suspension bactérienne. Ce prélèvement est ensuite étalé sur la surface d'un milieu de culture solide stérile (le plus souvent une gélose nutritive, comme la gélose Mueller-Hinton pour les bactéries) qui, ne contient aucune trace de l'agent antimicrobien (donc pas d'extrait d'argile). Il est essentiel de repiquer tous les puits sans croissance et au moins deux ou trois concentrations supérieures à la CMI.

## ***Résultats et discussion***

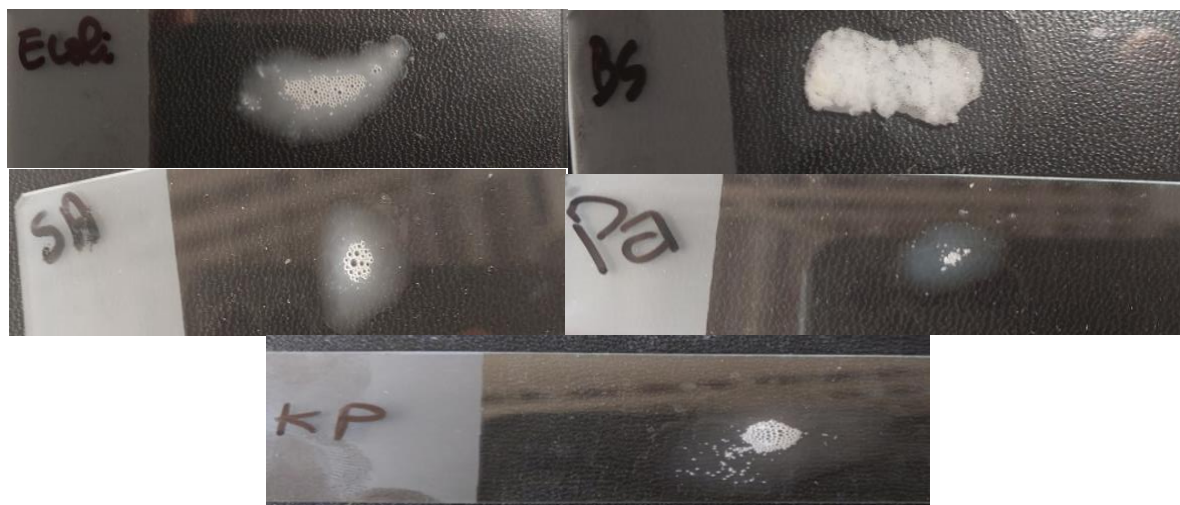
L'identification des microorganismes est un processus fondamental dont l'importance s'étend à de nombreux domaines, bien au-delà du simple secteur pharmaceutique, de contrôler la biocharge et garantir la sécurité des produits. Une étude récente a analysé les profils microbiens dans les solutions, milieux de culture et produits (SCP) d'une usine, classifiant les microorganismes en trois catégories de risque. La grande majorité (> 80%) des souches identifiées était indésirable, une petite partie comme non indésirable, et une très faible proportion comme critique (Mattoso *et al.*, 2025).

## 1. Etude biochimique

### 1.1. Test de catalase

Selon les résultats obtenus (**Figure 8**), des bulles se sont formées sur les colonies de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, et *Klebsiella pneumoniae* confirmant que ces souches sont catalase-positives. En revanche, aucune production de bulles n'a été observée pour *Candida albicans* ce qui suggère que ces micro-organismes sont catalase-négatifs.

Catalase +



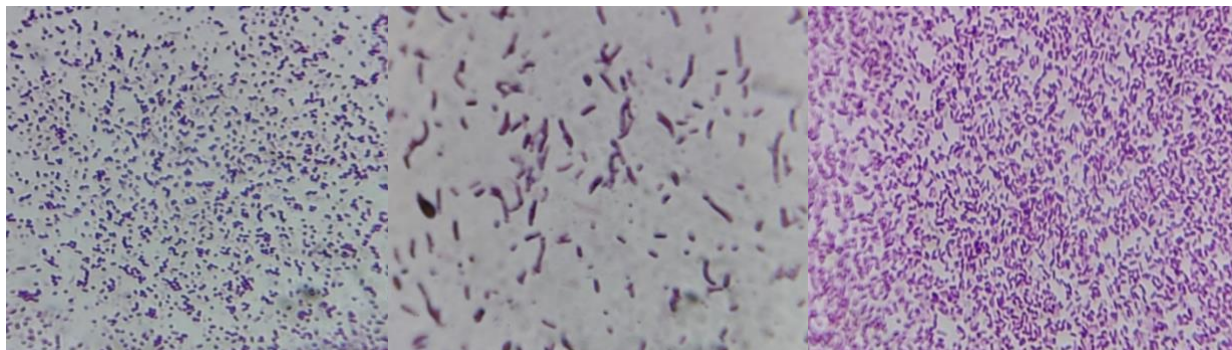
Catalase –



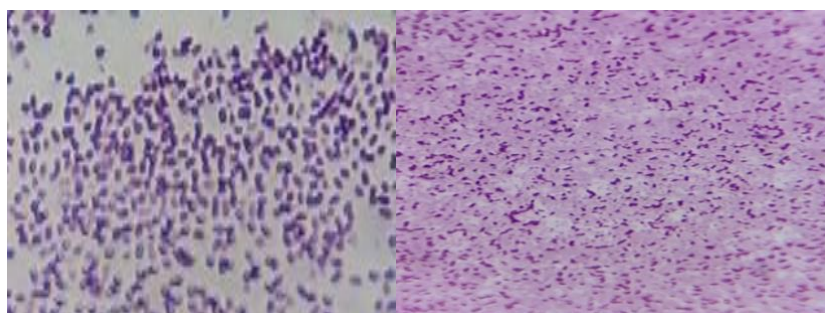
**Figure 8 :** Images des tests catalases pour les souches utilisées

## 2. Coloration de gram

Selon les résultats obtenus, les bactéries à Gram positif se présentent en violet foncé (**Figure 9**), alors que les bactéries à Gram négatif apparaissent en rose (**Figure 10**).



**Figure 9** : image microscopique de *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* objectif \*100



**Figure 10** : Image microscopique de *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* objectif \*100

## 3. Activité antimicrobienne

### 3.1. Méthode de diffusion sur gélose

Résultats des Tests d'inhibition par Diffusion sur Gélose lors des premiers tests de diffusion sur gélose effectués sur six souches bactériennes (**Figure 11**), une absence totale de zone d'inhibition a été observée pour la majorité des souches. Seule la souche de *Bacillus subtilis* a montré une très petite zone d'inhibition, jugée négligeable. Cependant, un deuxième essai réalisé dans les mêmes conditions n'a révélé aucune zone d'inhibition pour aucune des souches testées, y compris *Bacillus subtilis*, sachant que :

V → Verte

B → Blanche

M → Marron



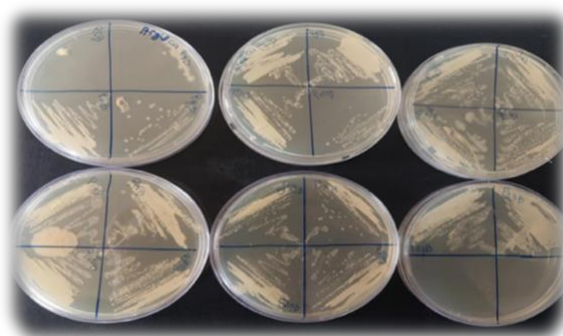
**Figure 11 :** Résultats microbiologiques obtenus par la méthode de diffusion sur gélose pour trois types d'argile

### 3.2. Détermination des concentrations minimale inhibitrice CMI et CMB

La croissance microbienne est indiquée par la turbidité. Le résultat est positif lorsqu'un trouble apparaît dans les tubes. Le dernier tube où il n'y a pas une croissance visible indique la concentration minimale inhibitrice. Les résultats des tests d'activité antimicrobienne pour les trois types d'argile ont révélé des Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI) (**Figure 12**) et des Concentrations Minimales Bactéricides (CMB) (**Figure 13**) supérieures à la concentration de l'extrait de 200 g/L.



**Figure 12 :** Résultats des tests de Concentration Minimale Inhibitrice (CMI)



**Figure 13 :** Résultats des tests de Concentration Bactéricide Minimale (CMB)

Les résultats obtenus au cours de cette étude mettent en évidence une variation de la sensibilité des six souches microbiennes testées vis-à-vis des différents types d'argile évalués. De manière générale, aucune activité antimicrobienne significative n'a été observée. Toutefois, une légère zone d'inhibition a été observée avec l'argile verte contre *Bacillus subtilis*, indiquant une faible sensibilité de cette souche. Ces observations sont en accord avec les données rapportées par **Ben Ali et al. (2017)**, dans lesquelles l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'argile verte tunisienne par la méthode de diffusion sur gélose n'a montré aucune zone d'inhibition autour du dépôt d'argile verte à une concentration de 400 g/L. En revanche, les antibiotiques de références utilisés dans cette étude (érythromycine, oxacilline et vancomycine) ont généré des zones d'inhibition nettes, confirmant ainsi l'absence d'effet antibactérien direct de l'argile verte.

Les recherches de **Gabriel et al. (1972)** ont rapporté que les minéraux argileux exercent un effet positif sur la survie de bactéries Gram-négatives comme *Klebsiella aërogènes*. Selon ces auteurs, les argiles peuvent agir comme des barrières protectrices contre les agents environnementaux. Par ailleurs, leur forte capacité d'échange cationique leur permet de libérer ou capter des éléments nutritifs, tout en offrant une structure physique stable pouvant servir de support à la croissance bactérienne. Ainsi, les argiles peuvent constituer un microenvironnement favorable à la survie et à la prolifération des bactéries, ce qui pourrait expliquer l'effet stimulant observé avec les argiles blanche et grise dans cette étude.

Dans le cadre d'une étude sur les propriétés antibactériennes d'argiles extraites du sol, dont l'objectif principal était d'identifier des argiles naturelles capables d'inhiber la croissance de bactéries pathogènes comme *Salmonella typhimurium* et *Staphylococcus aureus*. Les analyses physico-chimiques approfondies (capacité d'échange cationique, diffraction des rayons X pour l'identification minéralogique, et spectrométrie ICP-OES pour les métaux solubles) ont révélé que l'efficacité antimicrobienne dépend de facteurs combinés tels que le pH, la teneur en métaux et la fraction granulométrique fine. Cette recherche souligne l'importance d'adopter plusieurs approches complémentaires pour évaluer précisément le comportement antibactérien des argiles naturelles. Par exemple, l'argile de Carey, également d'origine tropicale, a démontré son potentiel antimicrobien contre les pathogènes alimentaires. Ses lixiviats et suspensions ont significativement réduit la viabilité de *Staphylococcus aureus*, avec une grande zone d'inhibition ( $7,63 \pm 0,48$  mm). Cette activité a été directement attribuée à sa haute teneur en métaux disponibles, incluant l'argent (Ag),

l'aluminium (Al), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni) et le zinc (Zn), identifiés comme les principaux responsables de son efficacité [(Abdullayev *et al.*, 2024) ; (Azmi *et al.*, 2021)]. Il est possible que notre argile, dans les conditions de lixiviation utilisées, ne libère pas ces ions en quantités suffisantes ou sous des formes actives pour exercer un effet inhibiteur sur les microorganismes. De plus, les auteurs de ces articles ont prélevé les échantillons d'argile à une profondeur de 25 à 50 cm pour éviter la contamination de surface, contrairement à notre méthode de récolte qui se fait à environ 10 cm de profondeur. Cette différence de méthode pourrait avoir un impact sur les résultats et mérite d'être prise en compte.

En outre, Lafi et Al-Dulaimy (2011) ont étudié l'effet antibactérien de certaines argiles minérales *in vitro*, offrant un point de comparaison essentiel pour nos propres observations sur l'activité antimicrobienne des argiles. Cette étude montre une activité bactéricide des argiles blanche, grise et jaune contre *Staphylococcus aureus*, et de l'argile rose contre *Pseudomonas aeruginosa*. Cette divergence est probablement due à la différence majeure dans la méthode de préparation et d'application des argiles, ou ils ont utilisé l'argile sous forme de poudre, permettant potentiellement des interactions directes (adsorption, contact physique) et une libération optimale d'ions métalliques à partir des particules d'argile dans le milieu de culture. Notre approche, impliquant une macération suivie d'une filtration, pourrait avoir éliminé les particules d'argile elles-mêmes et/ou réduit la concentration des composés actifs (ions, colloïdes) à des niveaux insuffisants pour exercer un effet antimicrobien. La nature spécifique des argiles utilisées (verte, marron, blanche) peut également influencer cette efficacité, car la composition minéralogique et chimique varie selon la source de l'argile.

Une autre étude menée par Abdullayev *et al.*, 2024 dont ils ont réalisé plusieurs expériences pour déterminer les mécanismes responsables de l'activité antibactérienne observée dans certaines argiles. L'argile provenant de Dhaka (Bangladesh) a montré une forte activité bactéricide en suspension aqueuse, accompagnée d'un pH acide (4,9). Pour tester si ce pH seul suffisait à expliquer l'effet, les chercheurs ont incubé *E. coli* et *B. subtilis* dans de l'eau ajustée à pH 4 et ont observé aucune réduction significative de la croissance bactérienne, suggérant que l'acidité seule n'est pas suffisante pour expliquer l'effet antibactérien. Cette observation est également confirmée par Azmi *et al.*, 2021, qui ont montré que le pH acide, à lui seul, ne suffit pas à expliquer l'activité antibactérienne de certaines argiles.

Par ailleurs, une autre expérience a mis en évidence que le contact direct entre les particules d'argile et les bactéries est essentiel ; lorsque les bactéries étaient séparées de l'argile par une membrane de dialyse (ne laissant passer que les ions, mais pas les particules solides), l'effet antibactérien était considérablement réduit, Cela signifie que les ions seuls ne suffisent pas pour tuer efficacement les bactéries. Il faut que les particules d'argile entrent en contact direct avec les bactéries pour que l'effet antibactérien soit vraiment puissant. Enfin, dans une expérience complémentaire, ils ont montré que lorsque *B. subtilis* était mélangée à l'argile de Dhaka, puis retirée, le lixiviat issu de cette interaction permettait une meilleure croissance bactérienne ultérieure, suggérant que les bactéries lysées auraient libéré des métabolites qui enrichissent le milieu, ce qui masque ou limite l'effet antibactérien du lixiviat seul (**Abdullayev *et al.*, 2024**).

L'activité antibactérienne des argiles naturelles est variable, car aucun minéral argileux naturel n'est exactement identique en raison des variations de leurs compositions minéralogiques et géologiques (**Motshekga, 2024**).

## ***Conclusion générale***

Cette étude a exploré le potentiel antimicrobien de l'argile, un sujet d'intérêt grandissant dans le domaine des sciences naturelles. Notre travail s'est structuré en trois volets essentiels. La première partie a posé les bases théoriques en détaillant la nature de l'argile, de sa définition à ses propriétés physico-chimiques. Par la suite, la deuxième partie a présenté notre approche expérimentale, rigoureusement menée pour évaluer la sensibilité des microorganismes dont *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* et *Candida albicans* à un extrait d'argile.

Les résultats obtenus ont été clairs et fiables ou aucune activité antimicrobienne significative de l'extrait d'argile n'a été détectée vis-à-vis des bactéries et de la levure pathogènes testées. Concrètement, nous n'avons observé ni inhibition de la croissance ni effets bactéricides ou fongicides dans les conditions de notre expérimentation.

Cette absence d'activité, bien que ne confirmant pas notre hypothèse initiale, constitue une donnée scientifique précieuse. Elle met en lumière la spécificité des propriétés des argiles et souligne qu'une potentielle activité antimicrobienne n'est pas une caractéristique universelle à toutes les argiles ou à tous les contextes d'application. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de ce constat comme la composition minéralogique précise de l'argile étudiée, son origine spécifique, les méthodes d'extraction ou de préparation, la concentration de l'extrait, ou encore les conditions physico-chimiques du milieu de test, qui n'ont peut-être pas permis l'expression d'une telle activité.

En conclusion, ce travail apporte une contribution importante en démontrant la nécessité d'une caractérisation rigoureuse et d'une validation expérimentale systématique des propriétés attribuées aux matériaux naturels. Il rappelle qu'une approche scientifique objective est primordiale pour distinguer les faits des observations non validées. Nos résultats ouvrent la voie à de futures recherches plus ciblées, visant à identifier précisément les types d'argiles spécifiques et les conditions optimales (par exemple, différentes origines, prétraitements, ou modes d'application) sous lesquelles une activité antimicrobienne pourrait être observée, contribuant ainsi à une meilleure compréhension et à une utilisation plus rationnelle de ces ressources nature. Pour mieux comprendre le potentiel thérapeutique de l'argile, des études supplémentaires sont nécessaires afin de cibler les composés actifs et tester leurs effets.

## *Références bibliographiques*

1. **El-Sada, A., M.G. Zedan, A., & Gamal El-D, H. M. (2021).** Hepato protective Role of Clay and Nano Clay for Alleviating Aflatoxin Toxicity in Male Rats. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 24(10), 1091-1102.
2. **Adapa, S., & Malani, A. (2022).** Cation hydration by confined water and framework-atoms have crucial role on thermodynamics of clays welling. *Scientific Reports*, 12(1), 17810.
3. **Adusumilli, S., & Haydel, S. E. (2015).** *In vitro* antibacterial activity and *in vivo* efficacy of hydratedclays on Mycobacterium ulcerans growth. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 40.
4. **Andrews, J. M. (2001).** Determination of minimum inhibitory concentrations. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 48(suppl\_1), 5-16.
5. **Arunachalam, K., Pandurangan, P., Shi, C., & Lagoa, R. (2023).** Regulation of Staphylococcus aureus Virulence and Application of Nanotherapeutics to Eradicate S. aureus Infection. *Pharmaceutics*, 15(2), 310.
6. **Awad, M. E., López-Galindo, A., Setti, M., El-Rahmany, M. M., & Iborra, C. V. (2017).** Kaolinite in pharmaceutics and biomedicine. *International Journal of Pharmaceutics*, 533(1), 34-48.
7. **Ayalew, A. A. (2022).** A critical review on clay-based nanocomposite particles for application of waste water treatment. *Water Science and Technology*, 85(10), 3002-3022.
8. **Azmi, N. N., Mahyudin, N. A., Wan Omar, W. H., Mahmud Ab Rashid, N.-K., Ishak, C. F., Abdullah, A. H., & Sharples, G. J. (2021).** Antibacterial Activity of Clay Soils against Food-Borne *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus*. *Molecules*, 27(1), 170.
9. **Behroozian, S., Svensson, S. L., Li, L. Y., & Davies, J. E. (2020).** Broad-Spectrum Antimicrobial and Antibiofilm Activity of a Natural Clay Mineral from British Columbia, Canada. *mBio*, 11(5), e02350-20.
10. **Bertola, M., Ferrarini, A., & Visioli, G. (2021).** Improvement of Soil Microbial Diversity through Sustainable Agricultural Practices and Its Evaluation by Omics Approaches : A Perspective for the Environment, Food Quality and Human Safety. *Microorganisms*, 9(7), 1400.

11. Benmahieddine, A., Belyagoubi-Benhammou, N., Belyagoubi, L., El Zerey-Belaskri, A., Gismondi, A., Di Marco, G., Canini, A., Bechlaghem, N., AtikBekkara, F., Djebli, N. (2021). Influence of plant and environment parameters on phytochemical composition and biological properties of *Pistacia atlantica* Desf. *Biochemical Systematics and Ecology*. 95: 3
12. Biddecì, G., Spinelli, G., Colomba, P., & Di Blasi, F. (2023). Halloysite Nanotubes and Sepiolite for Health Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4801.
13. Bitton, G., Henis, Y., & Lahav, N. (1972). Effect of Several Clay Minerals and Humic Acid on the Survival of *Klebsiella aerogenes* Exposed to Ultraviolet Irradiation. *Applied Microbiology*, 23(5), 870-874
14. Cao, L., Xie, W., Cui, H., Xiong, Z., Tang, Y., Zhang, X., & Feng, Y. (2022). Fibrous Clays in Dermopharmaceutical and Cosmetic Applications : Traditional and Emerging Perspectives. *International Journal of Pharmaceutics*, 625, 122097.
15. Chen, H., Zhang, J., He, Y., Lv, Z., Liang, Z., Chen, J., Li, P., Liu, J., Yang, H., Tao, A., & Liu, X. (2022). Exploring the Role of *Staphylococcus aureus* in Inflammatory Diseases. *Toxins*, 14(7), 464.
16. Chen, W. L., Grabowski, R. C., & Goel, S. (2022). Clay Swelling : Role of Cations in Stabilizing/Destabilizing Mechanisms. *ACS Omega*, 7(4), 3185-3191.
17. Chin, D., Goncheva, M. I., Flannagan, R. S., Deecker, S. R., Guariglia-Oropeza, V., Ensminger, A. W., & Heinrichs, D. E. (2021). Coagulase-negative staphylococci release a purine analog that inhibits *Staphylococcus aureus* virulence. *Nature Communications*, 12(1), 1887.
18. Chronopoulou, E., & Harper, J. C. (2015). IVF culture media : Past, present and future. *Human Reproduction Update*, 21(1), 39-55.
19. Chuesomboon, P., Rades, T., & Chaiyana, W. (2025). Potential of Encapsulated Bovine Colostrum in Powder-Based Formulations for Facial Clay, Peel-Off Gel, and Sleeping Gel Masks. *Gels*, 11(2), 111.
20. Da Silva Favero, J., Dos Santos, V., Weiss-Angeli, V., Gomes, L. B., Veras, D. G., Dani, N., Mexias, A. S., & Bergmann, C. P. (2019). Evaluation and characterization of Melo Bentonite clay for cosmetic applications. *Applied Clay Science*, 175, 40-46.
21. Dadu, R., Hu, M. I., Cleeland, C., Busaidy, N. L., Habra, M., Waguespack, S. G., Sherman, S. I., Ying, A., Fox, P., & Cabanillas, M. E. (2015). Efficacy of the

- Natural Clay, Calcium Aluminosilicate Anti-Diarrheal, in Reducing Medullary Thyroid Cancer-Related Diarrhea and Its Effects on Quality of Life : A Pilot Study. *Thyroid: Official Journal of the American Thyroid Association*, 25(10), 1085-1090.
22. **Damato, A., Vianello, F., Novelli, E., Balzan, S., Giancesella, M., Giaretta, E., & Gabai, G. (2022).** Comprehensive Review on the Interactions of Clay Minerals With Animal Physiology and Production. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 889612.
  23. **Detellier, C. (2018).** Functional Kaolinite. *The Chemical Record*, 18(7-8), 868-877.
  24. **Elgamouz, A., Tijani, N., Shehadi, I., Hasan, K., & Al-Farooq Kawam, M. (2019).** Characterization of the firing behaviour of an illite-kaolinite clay mineral and its potential use as membrane support. *Heliyon*, 5(8), e02281.
  25. **Errington, J., & Aart, L. T. V. D. (2020).** Microbe Profile : *Bacillus subtilis*: model organism for cellular development, and industrial workhorse: This article is part of the Microbe Profiles collection. *Microbiology*, 166(5), 425-427.
  26. **Garvie, L. A. J., Trif, L., Cotto-Figueroa, D., Asphaug, E., & Hoover, C. G. (2024).** High surface area and interconnected nanoporosity of clay-rich astro materials. *Scientific Reports*, 14(1), 10358.
  27. **Gomes, C. F., Gomes, J. H., & Da Silva, E. F. (2020).** Bacteriostatic and bactericidal clays : An overview. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(11), 3507-3527.
  28. **González-Martín, M., Corbera, J. A., Suárez-Bonnet, A., & Tejedor-Junco, M. T. (2020).** Virulence factors in coagulase-positive staphylococci of veterinary interest other than *Staphylococcus aureus*. *Veterinary Quarterly*, 40(1), 118-131.
  29. **Hadwan, M. H., Hussein, M. J., Mohammed, R. M., Hadwan, A. M., Saad Al-Kawaz, H., Al-Obaidy, S. S. M., & Al Talebi, Z. A. (2024).** An improved method for measuring catalase activity in biological samples. *Biology Methods and Protocols*, 9(1), bpae015.
  30. **Hénin, S., Chaussidon, J., & Calvet, R. (1969).** Surface, forme et croissance des minéraux des argiles. Bulletin du Groupe français des Argiles, 21(1), 31-45.
  31. **Hossain, T. J. (2024).** Methods for screening and evaluation of antimicrobial activity : A review of protocols, advantages, and limitations. *European Journal of Microbiology and Immunology*, 14(2), 97-115.
  32. **Howden, B. P., Giulieri, S. G., Wong Fok Lung, T., Baines, S. L., Sharkey, L. K., Lee, J. Y. H., Hachani, A., Monk, I. R., & Stinear, T. P. (2023).** *Staphylococcus*

- aureus host interactions and adaptation. *Nature Reviews Microbiology*, 21(6), 380-395.
33. **Hui, A., Yang, F., Yan, R., Kang, Y., & Wang, A. (2021).** Palygorskite-Based Organic–Inorganic Hybrid Nanocomposite for Enhanced Antibacterial Activities. *Nanomaterials*, 11(12), 3230.
34. **Işıl, Ç., Koydemir, H. C., Eryilmaz, M., de Haan, K., Pillar, N., Montesoglu, K., Unal, A. F., Rivenson, Y., Chandrasekaran, S., Garner, O. B., & Ozcan, A. (2025).** Virtual Gram staining of label-free bacteria using dark-field microscopy and deep learning. *Science Advances*, 11(2), eads2757.
35. **Jin, S.-S., Wang, W.-Q., Jiang, Y.-H., Yu, Y.-T., & Wang, R.-L. (2025).** A Comprehensive Overview of Klebsiella Pneumoniae : Resistance Dynamics, Clinical Manifestations, and Therapeutic Options. *Infection and Drug Resistance, Volume 18*, 1611-1628.
36. **Kovács, Á. T. (2019).** Bacillus subtilis. *Trends in microbiology*, 27(8), 724-725
37. **Kidd, S. E., Crawford, L. C., & Halliday, C. L. (2021).** Antifungal Susceptibility Testing and Identification. *Infectious Disease Clinics of North America*, 35(2), 313-339.
38. **Kovács, Á. T. (2019).** Bacillus subtilis. *Trends in microbiology*, 27(8), 724-725
39. **Kloprogge, J. T. (Theo), & Hartman, H. (2022).** Clays and the Origin of Life : The Experiments. *Life*, 12(2), 259.
40. **Lafi, S. A., & Al-Dulaimy, M. R. (2011).** Antibacterial Effect of some Mineral Clays In Vitro. *Egypt. Acad. J. biolog. Sci.*, 3(1), 75-81
41. **Macías-Quiroga, I. F., Giraldo-Gómez, G. I., & Sanabria-González, N. R. (2018).** Characterization of Colombian Clay and Its Potential Use as Adsorbent. *The Scientific World Journal*, 2018, 1-11.
42. **Massaro, M., Ciani, R., Cinà, G., Colletti, C. G., Leone, F., & Riela, S. (2022).** Antimicrobial Nanomaterials Based on Halloysite Clay Mineral : Research Advances and Outlook. *Antibiotics*, 11(12), 1761.
43. **Mattoso, J. M. V., Da Costa, L. V., Do Vale, B. D. A., Falavina Dos Reis, C., De Andrade, J. M., Braga, L. M. P. D. S., Conceição, G. M. S. D., Costa, P. B. M., Da Silva, I. B., Rodrigues, L. D. A. P., Dos Anjos, J. P., & Brandão, M. L. L. (2025).** Quantitative and Qualitative Evaluation of Microorganism Profile Identified in Bioburden Analysis in a Biopharmaceutical Facility in Brazil : Criteria for

- Classification and Management of Results. *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 79(2), 125-156.
44. **Menezes, L. R. D., & Silva, E. O. D. (2016).** The Use of Montmorillonite Clays as Reinforcing Fillers for Dental Adhesives. *Materials Research*, 19(1), 236-242.
45. **Mohajerani, A., Burnett, L., Smith, J. V., Kurmus, H., Milas, J., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., & Abdul Kadir, A. (2019).** Nanoparticles in Construction Materials and Other Applications, and Implications of Nanoparticle Use. *Materials*, 12(19), 3052.
46. **Motshekga, S. C. (2024).** Comparative Antibacterial Activity of Clay-Supported Silver Nanoparticles Prepared by Conventional Heating and Microwave Methods. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 49(7), 9507-9515
47. **Müller, A. S., Janjić, K., Shokoohi-Tabrizi, H., Oberoi, G., Moritz, A., & Agis, H. (2020).** The response of periodontal cells to kaolinite. *Clinical Oral Investigations*, 24(3), 1205-1215.
48. **Nadziakiewicz, M., Kehoe, S., & Micek, P. (2019).** Physico-Chemical Properties of Clay Minerals and Their Use as a Health Promoting Feed Additive. *Animals*, 9(10), 714.
49. **Neji, SB, Trabelsi, M. et Frikha, MH (2009).** Activation d'une argile smectite tunisienne à l'acide sulfurique : rôle catalytique de l'acide adsorbé par l'argile. *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 11, 191-203
50. **Ossowicki, A., Raaijmakers, J. M., & Garbeva, P. (2021).** Disentangling soil microbiome functions by perturbation. *Environmental Microbiology Reports*, 13(5), 582-590.
51. **Pokharel, P., Dhakal, S., & Dozois, C. M. (2023).** The Diversity of Escherichia coli Pathotypes and Vaccination Strategies against This Versatile Bacterial Pathogen. *Microorganisms*, 11(2), 344.
52. **Ponde, N. O., Lortal, L., Ramage, G., Naglik, J. R., & Richardson, J. P. (2021).** Candida albicans biofilms and polymicrobial interactions. *Critical Reviews in Microbiology*, 47(1), 91-111.
53. **Qin, S., Xiao, W., Zhou, C., Pu, Q., Deng, X., Lan, L., Liang, H., Song, X., & Wu, M. (2022).** Pseudomonas aeruginosa: Pathogenesis, virulence factors, antibiotic resistance, interaction with host, technology advances and emerging therapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7(1).

54. **Raju, B., Jumah, F., Narayan, V., Sonig, A., Sun, H., & Nanda, A. (2021).** The mediums of dissemination of knowledge and illustration in neurosurgery : Unraveling the evolution. *Journal of Neurosurgery*, 135(3), 955-961.
55. **Saridou, M., Nikolaidis, A. K., Koulaouzidou, E. A., & Achilias, D. S. (2023).** Synthesis and Characterization of Dental Nanocomposite Resins Reinforced with Dual Organomodified Silica/Clay Nanofiller Systems. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(8), 405.
56. **Shang, J., Huang, M., Zhao, L., He, P., Liu, Y., Pan, H., Cao, S., & Liu, X. (2024).** Adsorption Performance and Mechanisms of Tetracycline on Clay Minerals in Estuaries and Nearby Coastal Areas. *ACS Omega*, 9(1), 692-699.
57. **Spielvogel, I., Spalek, K., Badora, K., & Proćków, J. (2021).** Traditional knowledge and practice of the Triassic variegated clay from Silesia (Krasiejów), Poland, in human medicine. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 17(1), 10.
58. **Toty, AA, Guessennd, N., Bahi, C., KRA, AKM, Tokore, DA et Dosso, M. (2013).** Évaluation in-vitro de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de l'écorce de tronc de Harungana madagascariensis sur la croissance de souches multi-résistantes. Bulletin de la société royale des sciences de Liège
59. **Tripathi, N., Zubair, M., & Sapra, A. (2025).** Gram Staining. In *Stat Pearls*. Stat Pearls Publishing.
60. **Truong, T., Pang, L. M., Rajan, S., Wong, S. S. W., Fung, Y. M. E., Samaranayake, L., & Seneviratne, C. J. (2020).** The Proteome of Community Living Candida albicans Is Differentially Modulated by the Morphologic and Structural Features of the Bacterial Cohabitants. *Microorganisms*, 8(10), 1541.
61. **Valenzuela Díaz, F. R., & Santos, P. D. S. (2001).** Studies on the acid activation of Brazilian smectitic clays. *Química Nova*, 24(3).
62. **Velde, B. B., & Meunier, A. (2008).** *The origin of clay minerals in soils and weathered rocks*. Springer Science & Business Media.
63. **Wang, X., Chi, Y., & Song, S. (2024).** Important soil microbiota's effects on plants and soils : A comprehensive 30-year systematic literature review. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1347745.
64. **Williams, L. B., Haydel, S. E., Giese, R. F., & Eberl, D. D. (2008).** Chemical and mineralogical characteristics of french green clays used for healing. *Clays and Clay Minerals*, 56(4), 437-452.

65. **Wilson, M. J. (1999).** The origin and formation of clayminerals in soils : Past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, 34(1), 7-25.
66. **Wood, S. J., Kuzel, T. M., &Shafikhani, S. H. (2023).** Pseudomonas aeruginosa : Infections, Animal Modeling, and Therapeutics. *Cells*, 12(1), 199.
67. **Yu, S., Piao, H., Rejinold, N. S., Jin, G., Choi, G., &Choy, J.-H. (2021).** Niclosamide–Clay Intercalate Coated with Non ionic Polymer for Enhanced Bioavailability to ward COVID-19 Treatment. *Polymers*, 13(7), 1044.
68. **Zou, Y., Hu, Y., Shen, Z., Yao, L., Tang, D., Zhang, S., Wang, S., Hu, B., Zhao, G., & Wang, X. (2022).** Application of aluminosilicate claymineral-based composites in photocatalysis.

## ملخص

تستكشف هذه الأطروحة خصائص الطين، مع التركيز على جوانبه الأساسية وإعداده المخبري. الجزء الأول من هذا العمل مخصص لاستكشاف متعمق لأساسيات الطين، بما في ذلك تعريفه وخصائصه وتطبيقاته المختلفة. وفي المرحلة الثانية قمنا بتفصيل خطوات تحضير مستخلص الطين. تتضمن هذه العملية عدة مراحل صارمة: الطحن، والغربلة للحصول على حجم جزيئات دقيقة، والنقع لتسهيل استخراج المكونات، وأخيرًا الترشيح لفصل المستخلص النقي. ركزت هذه المرحلة من دراستنا على تقييم الأنشطة المضادة للميكروبات لمستخلص الطين هذا. لقد قمنا باختبار فعاليته ضد مجموعة مكونة من خمس سلالات بكتيرية وسلالة واحدة من الخميرة. تم استخدام طريقتين لهذا التقييم: طريقة انتشار الأجار وطريقة انتشار السائل وعلى عكس كل التوقعات، فإن النتائج التي تم الحصول عليها لم تكشف عن أي نشاط مضاد للميكروبات كبير لمستخلص الطين ضد الكائنات الحية الدقيقة التي تم اختبارها في ظل ظروف دراستنا.

**الكلمات المفتاحية:** الطين؛ مضاد للبكتيريا؛ مضاد للفطريات؛ تلمسان.

## Abstract

This master thesis explores the properties of clay, focusing on its fundamental aspects and laboratory preparation. The first part of this work is dedicated to an in-depth exploration of the basics of clay, including its definition, characteristics, and various applications. In the second part, we detailed the steps for preparing a clay extract. This process involved several rigorous phases: grinding, sieving to obtain fine particle size, maceration to facilitate the extraction of components, and finally filtration to separate the purified extract. This part of our study focused on evaluating the antimicrobial activities of this clay extract. We tested its effectiveness against a panel of five bacterial strains and one yeast strain. Two methods were used for this evaluation: the agar diffusion method and the liquid medium diffusion method. Unexpectedly, the results obtained did not reveal significant antimicrobial activity of the clay extract against the microorganisms tested under the conditions of our study.

**Keywords:** Clays; Antibacterial; Antifungal; Tlemcen.

## Résumé

Ce mémoire explore les propriétés de l'argile, en se concentrant sur ses aspects fondamentaux et sa préparation en laboratoire. La première partie de ce travail est dédiée à une exploration approfondie des bases de l'argile, incluant sa définition, ses caractéristiques et ses diverses applications. Dans la deuxième partie, nous avons détaillé les étapes de préparation d'un extrait d'argile. Ce processus a impliqué plusieurs phases rigoureuses : le broyage, le tamisage pour obtenir une granulométrie fine, la macération pour faciliter l'extraction des composants, et enfin la filtration pour séparer l'extrait purifié. Cette partie de notre étude a porté sur l'évaluation des activités antimicrobiennes de cet extrait d'argile. Nous avons testé son efficacité contre un panel de cinq souches bactériennes et une souche de levure. Deux méthodes ont été employées pour cette évaluation : la méthode de diffusion sur gélose et la méthode de diffusion en milieu liquide. Contre toute attente, les résultats obtenus n'ont pas révélé d'activité antimicrobienne significative de l'extrait d'argile contre les micro-organismes testés dans les conditions de notre étude.

**Mots-clés :** Argiles ; Antibactérien ; Antifongique ; Tlemcen.

## ملخص

تستكشف هذه الأطروحة خصائص الطين، مع التركيز على جوانبه الأساسية وإعداده المخبري. الجزء الأول من هذا العمل مخصص لاستكشاف متعمق لأساسيات الطين، بما في ذلك تعريفه وخصائصه وتطبيقاته المختلفة. وفي المرحلة الثانية قمنا بتفصيل خطوات تحضير مستخلص الطين. تتضمن هذه العملية عدة مراحل صارمة: الطحن، والغربلة للحصول على حجم جزيئات دقيقة، والنقع لتسهيل استخراج المكونات، وأخيرًا الترشيح لفصل المستخلص النقي. ركزت هذه المرحلة من دراستنا على تقييم الأنشطة المضادة للميكروبات لمستخلص الطين هذا. لقد قمنا باختبار فعاليته ضد مجموعة مكونة من خمس سلالات بكتيرية وسلالة واحدة من الخميرة. تم استخدام طريقتين لهذا التقييم: طريقة انتشار الأجار وطريقة انتشار السائل وعلى عكس كل التوقعات، فإن النتائج التي تم الحصول عليها لم تكشف عن أي نشاط مضاد للميكروبات كبير لمستخلص الطين ضد الكائنات الحية الدقيقة التي تم اختبارها في ظل ظروف دراستنا.

**الكلمات المفتاحية:** الطين؛ مضاد للبكتيريا؛ مضاد للفطريات؛ تلمسان.

## Abstract

This master thesis explores the properties of clay, focusing on its fundamental aspects and laboratory preparation. The first part of this work is dedicated to an in-depth exploration of the basics of clay, including its definition, characteristics, and various applications. In the second part, we detailed the steps for preparing a clay extract. This process involved several rigorous phases: grinding, sieving to obtain fine particle size, maceration to facilitate the extraction of components, and finally filtration to separate the purified extract. This part of our study focused on evaluating the antimicrobial activities of this clay extract. We tested its effectiveness against a panel of five bacterial strains and one yeast strain. Two methods were used for this evaluation: the agar diffusion method and the liquid medium diffusion method. Unexpectedly, the results obtained did not reveal significant antimicrobial activity of the clay extract against the microorganisms tested under the conditions of our study.

**Keywords:** Clays; Antibacterial; Antifungal; Tlemcen.

## Résumé

Ce mémoire explore les propriétés de l'argile, en se concentrant sur ses aspects fondamentaux et sa préparation en laboratoire. La première partie de ce travail est dédiée à une exploration approfondie des bases de l'argile, incluant sa définition, ses caractéristiques et ses diverses applications. Dans la deuxième partie, nous avons détaillé les étapes de préparation d'un extrait d'argile. Ce processus a impliqué plusieurs phases rigoureuses : le broyage, le tamisage pour obtenir une granulométrie fine, la macération pour faciliter l'extraction des composants, et enfin la filtration pour séparer l'extrait purifié. Cette partie de notre étude a porté sur l'évaluation des activités antimicrobiennes de cet extrait d'argile. Nous avons testé son efficacité contre un panel de cinq souches bactériennes et une souche de levure. Deux méthodes ont été employées pour cette évaluation : la méthode de diffusion sur gélose et la méthode de diffusion en milieu liquide. Contre toute attente, les résultats obtenus n'ont pas révélé d'activité antimicrobienne significative de l'extrait d'argile contre les micro-organismes testés dans les conditions de notre étude.

**Mots-clés :** Argiles ; Antibactérien ; Antifongique ; Tlemcen.